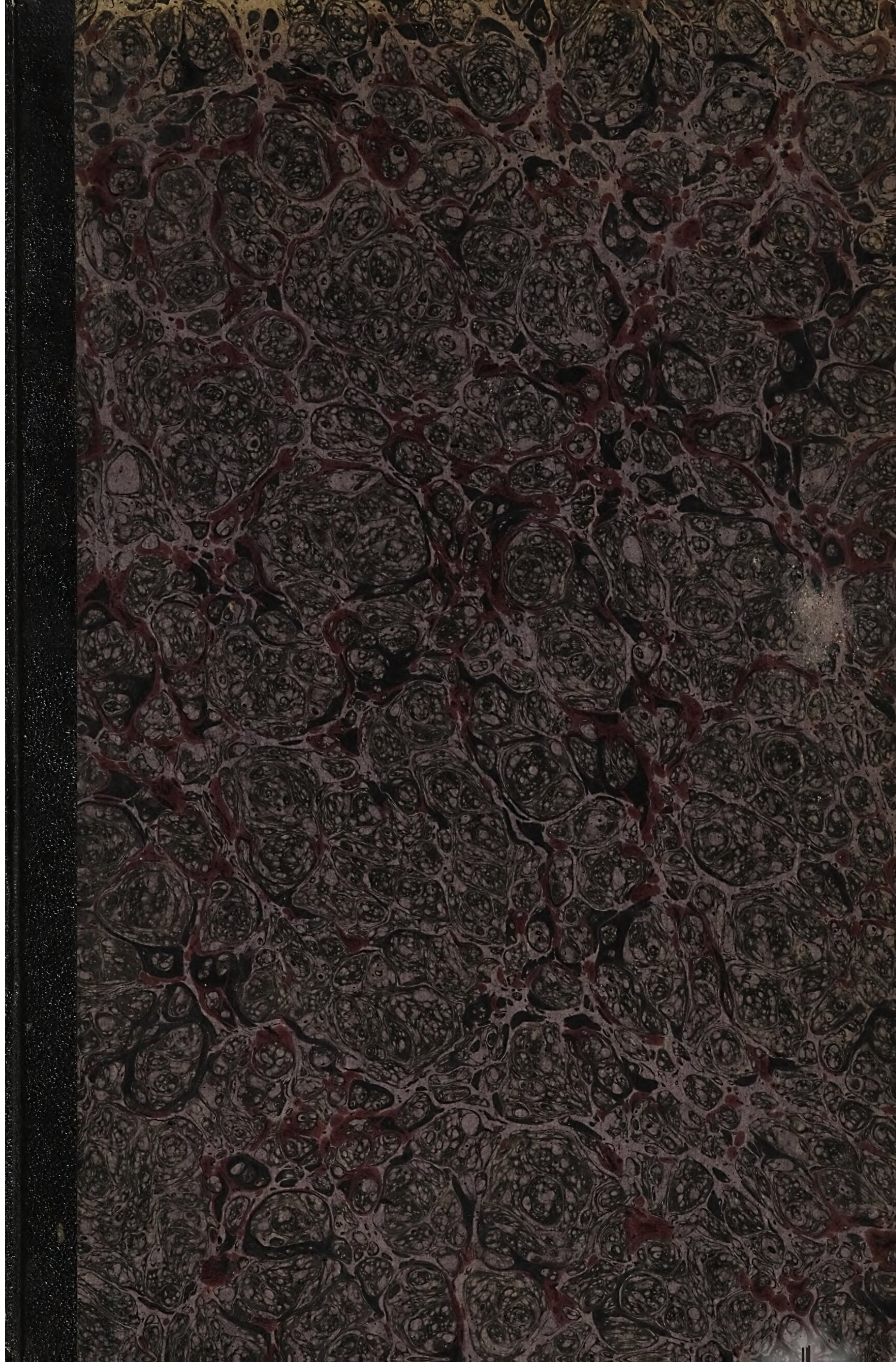




J. XL 137

Phys.
O.
41 C

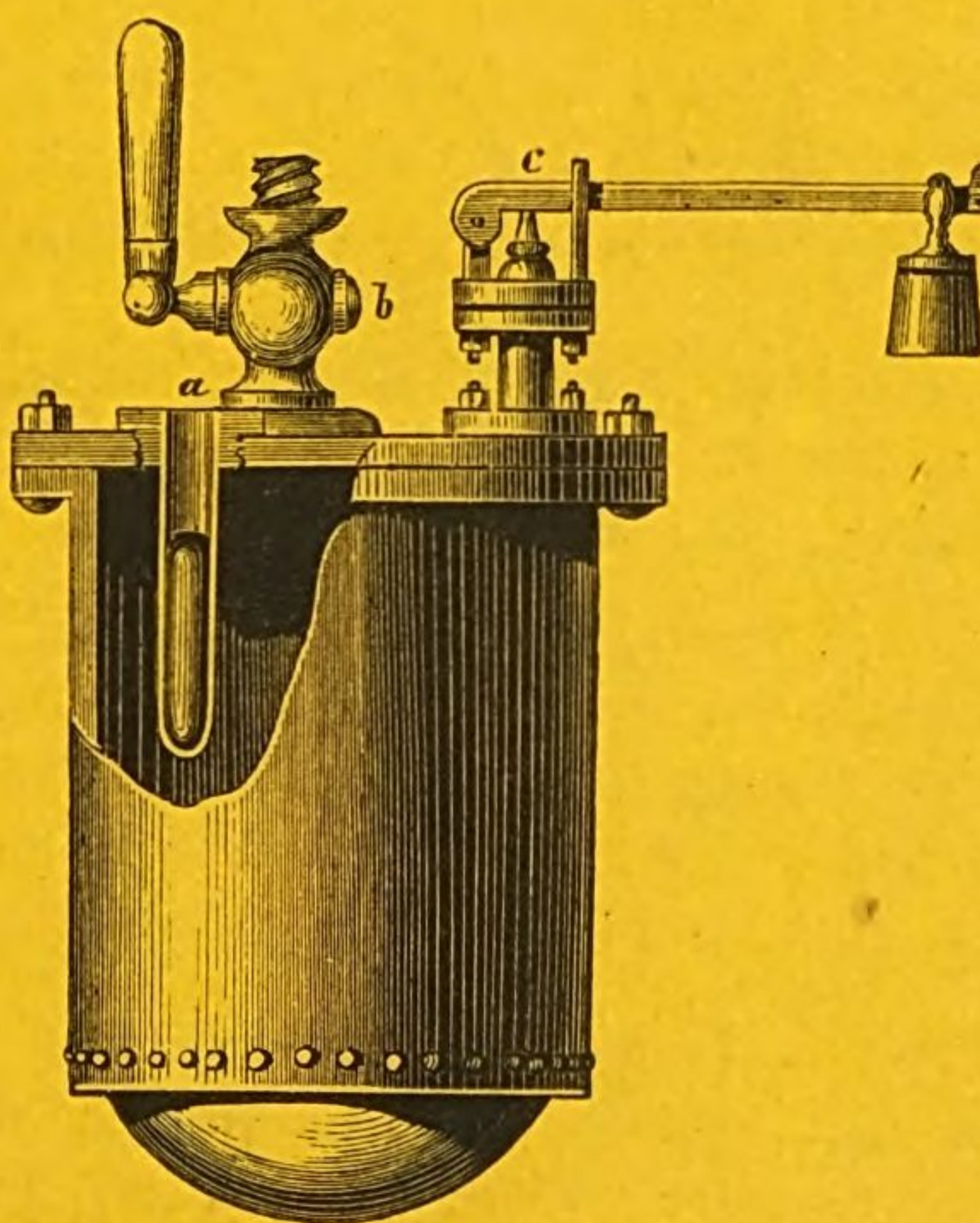
J. M. 137. Krist Naturlehre.

ANFANGSGRÜNDE
DER
NATURLEHRE

FÜR DIE
UNTEREN KLASSEN DER MITTELSCHULEN.

VON
DR. JOS. KRIST

LEHRER DER PHYSIK AN DER K. K. SCHOTTENFELDER OBER-REALSCHULE IN WIEN.



MIT 291 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

WIEN, 1864.

WILHELM BRAUMÜLLER

K. K. HOFBUCHHÄNDLER.

Im Verlage
von **Wilhelm Braumüller**, k. k. Hofbuchhändler in **Wien**
sind nachstehende

Lehrbücher der Herren Professoren an der k. k. Ober-Realschule
am Schottenfeld erschienen:

Engel, Johann, Weltpriester, Direktor der k. k. Ober-Realschule am Schottenfeld in Wien. **Geschichte der Kirche Jesu Christi** für höhere Lehr-Anstalten. 8. 1854. 1 fl. 50 kr. — 1 Thlr.

Glasl, G., Lehrer an der k. k. Realschule am Schottenfeld in Wien. **Lehrbuch der Geometrie** für Unterrealschulen, nach dem von dem hohen Unterrichtsministerium vorgeschriebenen Lehrplane bearbeitet. Mit 131 Holzschnitten und 2 Kupfertafeln. Vierte vermehrte und verbesserte Auflage. 8. 1858. 1 fl. 50 kr. — 1 Thlr.

— — **Arithmetik** für den ersten Jahrgang der Unter-Realschule nach dem vom hohen Unterrichts-Ministerium vorgeschriebenen Lehrplane bearbeitet. gr. 8. 1855. 1 fl. — 20 Ngr.

— — **Maschinenlehre für Oberrealschulen**, nach dem von dem hohen k. k. Unterrichts-Ministerium vorgeschriebenen Lehrplane bearbeitet. Mit 12 Kupfertafeln. gr. 8. 1854. 2 fl. 80 kr. — 1 Thlr. 26 Ngr.

Haufe, Fr., Direktor der Wiener Handels-Akademie, em. k. k. Professor und Oberrealschul-Direktor. **Leitfaden für den Unterricht in der Geographie**, mit besonderer Rücksicht auf das Kaiserthum Oesterreich. Für Real-, Handels- und Gewerbeschulen. Fünfzehnte verbesserte Auflage. 8. 1864. 1 fl. 40 kr. — 28 Ngr.

— — **Lehrbuch der allgemeinen Waarenkunde** für kommerzielle und technische Lehranstalten, so wie zum Selbstunterrichte für Handelsleute, Gewerbetreibende, Dekonomen, Kameralisten. gr. 8. 1854. 5 fl. — 3 Thlr. 10 Ngr.

Hieser, J., Professor an der k. k. Oberrealschule auf dem Schottenfelde in Wien. **Lehrbuch der beschreibenden (darstellenden) Geometrie, Schattenlehre und Perspective**. Für Realschulen. Mit 145 in den Text eingedruckten Figuren. gr. 8. 1861. 2 fl. — 1 Thlr. 20 Ngr.

Hinterberger, Friedr., Doctor der Medicin und Chirurgie, Magister der Geburtshilfe, Professor der Chemie an der k. k. Oberrealschule am Schottenfelde in Wien. **Lehrbuch der Chemie** für Unterrealschulen und Gewerbeschulen, sowie zum Selbstunterrichte für Mediciner, Pharmaceuten und Techniker. Achte Auflage. Mit in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. 1862. 2 fl. — 1 Thlr. 10 Ngr.

— — **Lehrbuch der technischen Chemie** für Oberrealschulen. 1. Theil, für die erste Klasse. Zweite verbesserte Auflage. Mit 55 in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. 1860. 1 fl. 80 kr. — 1 Thlr. 6 Ngr.

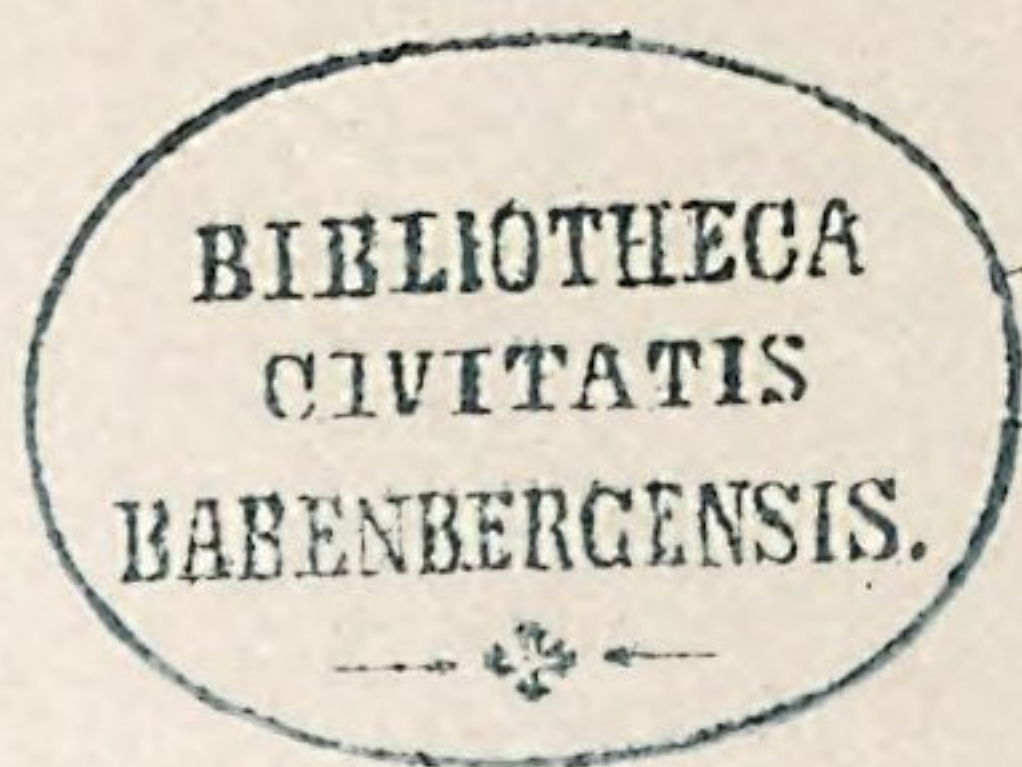
— — 2. Theil, für die zweite Klasse. Mit 26 in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. 1855. 1 fl. 40 kr. — 28 Ngr.

— — 3. Theil, für die dritte Klasse. Mit 31 in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8. 1857. 2 fl. — 1 Thlr. 10 Ngr.

ANFANGSGRÜNDE
DER
NATURLEHRE

FÜR
DIE UNTEREN KLASSEN DER MITTELSCHULEN.

VON
DR. JOS. KRIST,
LEHRER DER PHYSIK AN DER K. K. SCHOTTENFELDER OBER-REALSCHULE IN WIEN.



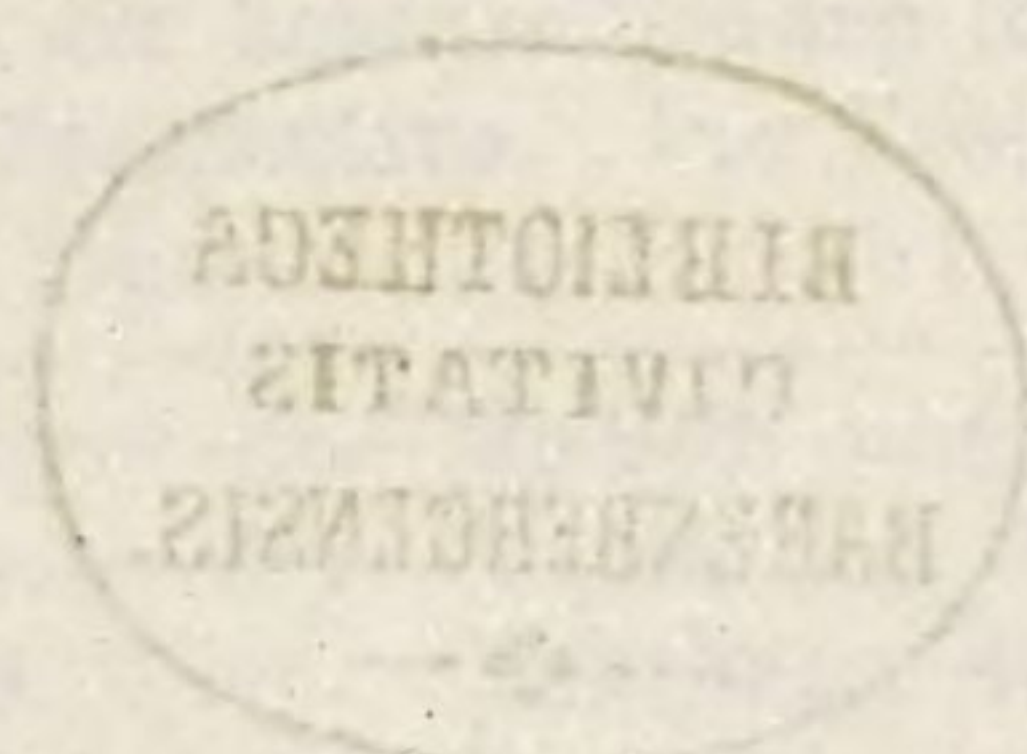
WIEN, 1864.
WILHELM BRAUMÜLLER
K. K. HOFBUCHHÄNDLER.

ATLAS

NATURAL

DER NATURE

Dr. JOH. KRIST



Wien 1861

WILHELM BRUNNEN

SEINEM HOCHGEEHRTEN LEHRER

DEM HERRN

DR. AUG. KUNZEK, EDLEN VON LICHTON,

k. k. o. ö. Professor der Physik an der Universität in Wien, Ritter des grossherzogl. Badischen Ordens vom Zähringer Löwen, emeritierter Decan und Rector der Lemberger Universität, correspondierendes Mitglied der kaiserl. Akademie der Wissenschaften, Mitglied der k. k. geographischen Gesellschaft in Wien, der k. k. Landwirthschafts-Gesellschaften in Wien und in Galizien, etc. etc.

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

VORWORT.

Die vorliegenden „Anfangsgründe der Naturlehre“ unterscheiden sich von Büchern derselben Art weniger durch die Menge als vielmehr durch die Behandlungsweise und durch die Anordnung des Lehrstoffes. Schon ein flüchtiger Blick in das Buch zeigt, dass der Versuch mehr in den Vordergrund gesetzt worden ist als es bei den bisher in unseren Schulen üblichen Lehrbüchern der Physik der Fall ist; das Experiment erscheint nämlich mit möglichster Consequenz als Prämisse, das Naturgesetz als die daraus nothwendig sich ergebende Conclusion hingestellt. Hiebei wurde darauf Rücksicht genommen, dass die Physik eine Erfahrungswissenschaft ist und dass auf den Geist jener Altersstufe, für welche das vorliegende Lehrbuch bestimmt ist, vorwiegend auf dem Wege der Anschauung gewirkt werden muss; zudem wurde stets im Auge behalten, dass die Bedeutung der Naturlehre für die mittlere Unterrichtsstufe hauptsächlich in der Aufgabe liegt, den jugendlichen Geist zum selbständigen Beobachten auzuregen und zu einer vorurtheilsfreien, richtigen Beurtheilung der Beobachtungsergebnisse anzuleiten.

Dieselben Erwägungen waren auch zum Theile maassgebend bei der Anordnung des Lehrstoffes; den Ausschlag gab hier jedoch die Rücksicht auf die arithmetisch-geometrische Vorbildung der Schüler. Jene Lehren der Physik, welche fast ausschliesslich experimental behandelt werden können, wurden deshalb vorausgeschickt, während jene Theile, zu deren Verständnis

ein geübteres arithmetisches und geometrisches Anschauungsvermögen erforderlich ist, gegen den herkömmlichen Usus auf ein späteres Semester verschoben wurden. Mit der Lehre vom Hebel ward eine Ausnahme gemacht, weil diese Maschine theils als Wage, theils an anderen physikalischen Apparaten wiederholt zur Anwendung kommt.

Ob nun der im Buche eingehaltene Vorgang der richtige sei und ob das Buch im Ganzen nach Form und Inhalt seinem Zwecke entspreche, darüber mögen meine Fachcollegen unbefangen und gerecht urtheilen.

Der Verfasser.

INHALT.

	Seite
I. Einleitung	1
II. Von der Schwere	6
III. Von der Wärme	19
IV. Von den chemischen Erscheinungen	35
V. Von dem Magnetismus	47
VI. Von der Elektrizität	56
VII. Vom Gleichgewichte und von der Bewegung	88
VIII. Wirkungen der Molekularkräfte	127
IX. Von den tropfbar flüssigen Körpern	136
X. Von den luftförmigen Körpern	153
XI. Vom Schalle (Akustik)	170
XII. Vom Lichte (Optik)	189

I. EINLEITUNG.

1. Die Sinne des Menschen. Sinnenwelt oder Natur. Die Dinge um uns her nehmen wir durch die Sinne wahr, nämlich: durch den Gesichts-, Gehörs-, Tast-, Geschmacks- und Geruchssinn. Wir sehen mit den Augen die Gestalt und Grösse, die Stellung und Anordnung, die Farbe und den Glanz der Gegenstände, und unterscheiden mit ihnen Licht und Dunkelheit. Vermittelt der Ohren hören wir; sie erschliessen uns das wunderbare Reich der Töne und ermöglichen, dass ein Mensch dem andern seine Gedanken und Gefühle durch die Sprache mittheilen kann. Der Tastsinn zeigt sich an der ganzen Hautfläche des menschlichen Körpers, besonders stark jedoch an den Fingerspitzen. Derselbe gibt uns Aufschluss über die Wärme und Kälte, über die Rauigkeit und Glätte, über die Härte und Weichheit, sowie über die Gestalt der Körper. Diese Wahrnehmungen können wir aber nur dann machen, wenn wir den Körper berühren; dagegen vermögen wir mit den Augen entfernte Gegenstände zu sehen, mit den Ohren z. B. den Klang einer fernen Glocke zu hören. Der Geschmackssinn wird durch die Zunge vermittelt; am sichersten äussert er sich am hinteren Theile des Zungenrückens. Wir schmecken einen Körper nur dann, wenn derselbe entweder schon flüssig ist oder doch im Speichel sich löst und so mit der Zunge in unmittelbare innige Berührung kommen kann. Die Nase oder vielmehr die in der Nasenhöhle ausgebreitete Schleimhaut ist der Träger des Geruchssinnes. Riechbar sind nur luftförmige Stoffe. — Die Vermittler der Sinne heissen Sinneswerkzeuge oder Sinnesorgane.

Der Inbegriff alles dessen, was wir mit Hilfe unserer Sinne wahrnehmen können, heisst Sinnenwelt oder auch Natur (Aussenwelt). Die mit den Sinnen wahrnehmbaren Gegenstände werden Körper und daher wird die Natur auch Körperwelt genannt. Zu dieser gehören nicht nur die auf der Erde befindlichen Gegenstände mit ihren verschiedenartigen Eigenschaften, sondern auch die von der Erde sehr

weit entfernten Himmelskörper, wie die Sonne, der Mond und die unzähligen anderen Gestirne.

2. Volumen. Materie. Bei Betrachtung der uns umgebenden Körper fällt uns sogleich auf, dass dieselben in gewissen Entfernungen abgesondert neben, hinter und über einander sich befinden. Hieraus schliessen wir, dass jeder Körper einen begrenzten Raum einnimmt, d. h. ausgedehnt ist. *Die Grösse des von einem Körper eingenommenen Raumes heisst das Volumen* (auch Raum-, Körper- oder Kubikinhalte) *des Körpers.*

Der Raum und jeder Körper sind nach drei Richtungen ausgedehnt, nämlich: von links nach rechts oder in die Länge, von vorn nach rückwärts oder in die Breite, und von unten nach oben oder in die Höhe (Dicke, Tiefe). Um das Volumen eines Körpers in Zahlen auszudrücken, muss man es messen, d. i. mit einem als bekannt angesehenen Volumen, der sogenannten Volumeinheit vergleichen. Das Ausmessen der Volumina lässt sich auf das Messen von Linien oder Längen zurückführen. Die Längeneinheit ist bei uns die Klafter. Die Klafter ($^{\circ}$) wird in sechs Fuss ($'$), der Fuss in zwölf Zoll ($''$), der Zoll in zwölf Linien ($'''$) eingetheilt. Zum Messen grösserer Längen benützt man die österreichische Meile = 4000° , oder auch die geographische Meile, welche nahezu $3912\frac{1}{2}^{\circ}$ lang ist. — Sehr häufige Anwendung findet das französische Metermaass, welchem der Meter (^{m}) als Einheit zu Grunde liegt. 1 Meter = 10 Decimeter = 100 Centimeter (^{cm}) = 1000 Millimeter (^{mm}). — 1 Kilometer = 1000 Meter = 100 Decameter = 10 Hectometer. Ein Meter beträgt nahezu $3'1''11\frac{1}{2}'''$ des österr. Maasses. Fig. 1 stellt 3 österr. Zolle, Fig. 2 einen in Centi- und Milli-

Fig. 1.

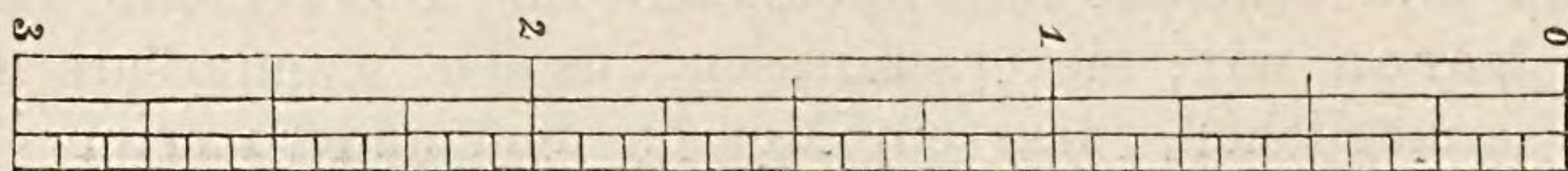
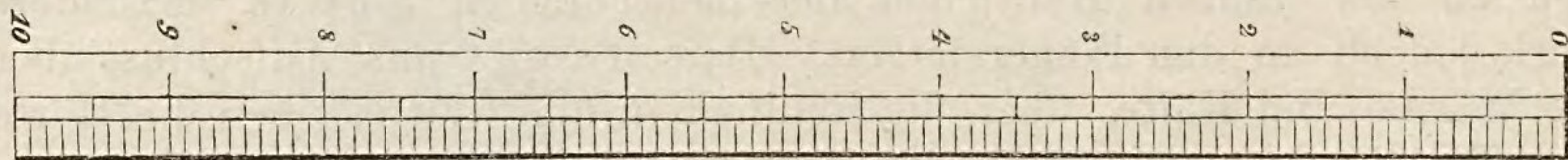


Fig. 2.



meter getheilten Decimeter vor. — Maassstab. — Als Flächeneinheit wird ein Quadrat angenommen, dessen Seite der Längeneinheit gleich ist. 1 Quadratklaffer = $36\Box'$; $1\Box' = 144\Box''$; $1\Box'' = 144\Box'''$. Die Volumeinheit ist ein Würfel, dessen Seite der Längeneinheit gleich ist. Die Kubikklaffer enthält 216 Kubikfuss, der Kubikfuss 1728 Kubikzoll u. s. w. Fig. 3 stellt einen Kubikzoll, Fig. 4 einen Kubikcentimeter vor.

Fig. 3.

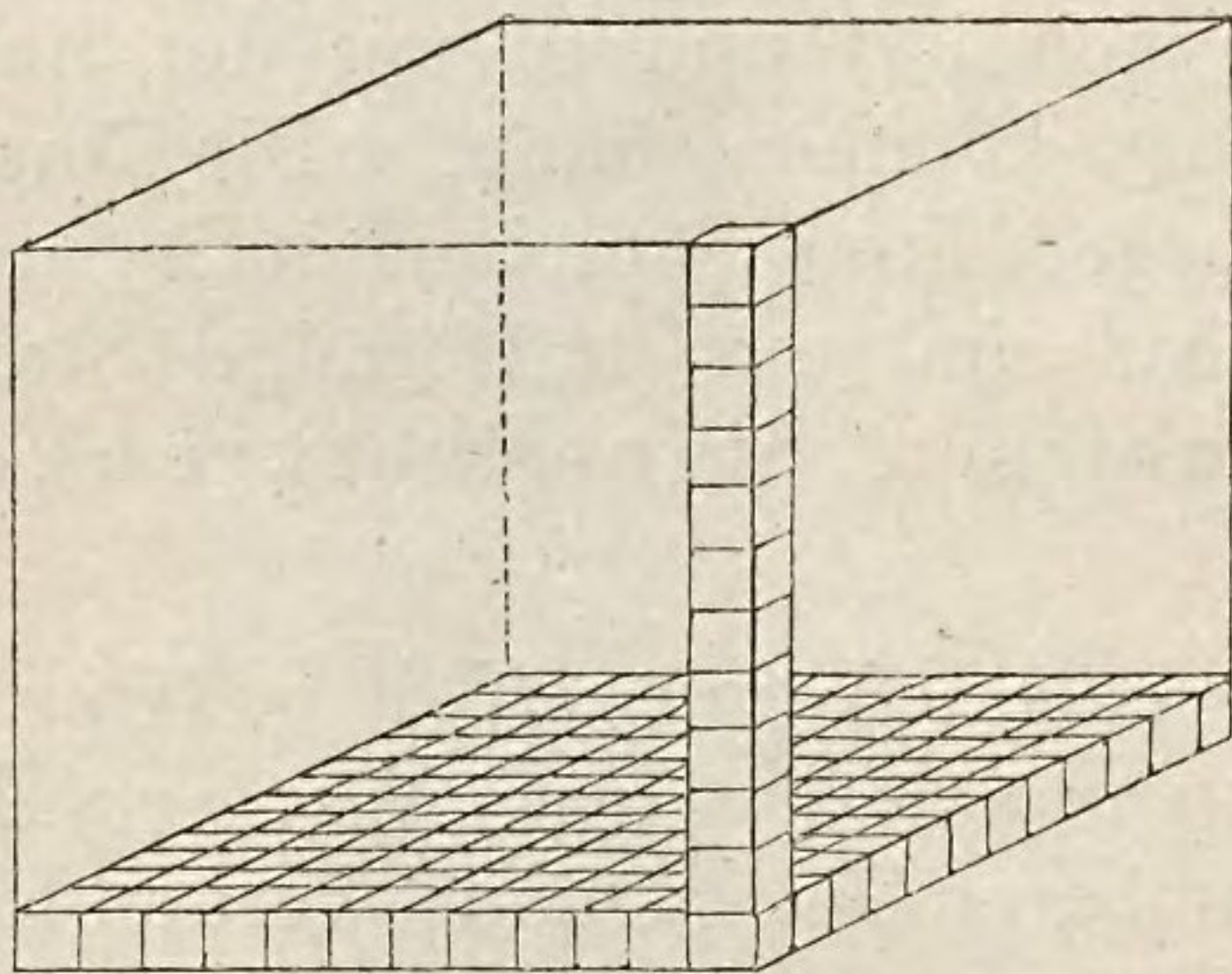
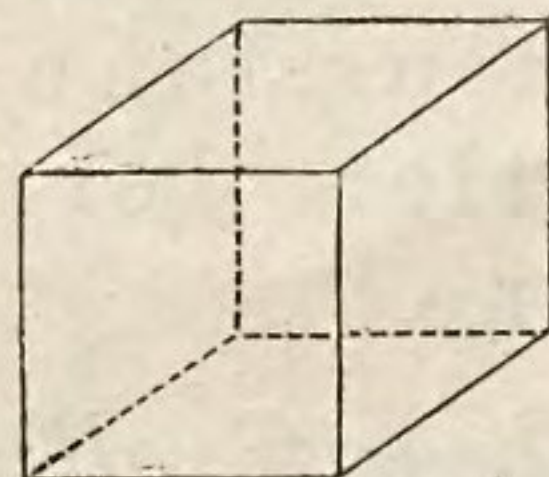


Fig. 4.



Will man einen Körper an die Stelle bringen, wo ein anderer sich befindet, so muss der letztere zuvor von seinem Platze entfernt

werden. Versucht man in den Raum eines Körpers zu dringen, wie diess z. B. beim Betasten geschieht, so verspürt man einen Widerstand. — Taucht man die Hand in ein mit Wasser gefülltes Gefäss ein, so steigt das Wasser, ja es rinnt sogar über, wenn das Gefäss voll war. Versucht man hingegen mit einem an die Gefässwände genau anschliessenden Stempel einzudringen, so wird diess trotz aller Anstrengung nicht gelingen. — In einem Cylinderglase lässt sich ein luftdicht anschliessender Stempel nicht bis auf den Boden schieben. Wird eine scheinbar leere Glasglocke so in Wasser getaucht, dass ihre ganze Basis zugleich die Wasseroberfläche berührt, so dringt nur wenig Wasser ein, wenn die Glocke auch noch so tief eingetaucht wird. Neigt man die Glocke unter dem Wasser, so steigen Blasen auf und es dringt Wasser in die Glocke, wenn man sie niederdrückt. Die Luft setzt uns beim Gehen einen Widerstand entgegen, den wir besonders verspüren, wenn sie durch den Wind bewegt wird.

Das Volumen der Körper ist demnach von etwas erfüllt, welches jeden Körper von dem Volumen eines anderen ausschliesst. Dieses das Volumen eines Körpers Ausfüllende heisst Materie, Stoff oder Substanz. Die Eigenschaft der Materie, vermöge welcher dort, wo ein Körper sich befindet, nicht gleichzeitig ein anderer sein kann, wird Undurchdringlichkeit genannt. Die Menge der Materie, welche in dem Volumen eines Körpers enthalten ist, heisst die Masse des Körpers.

Auf der Undurchdringlichkeit der Materie beruhen die Tastbarkeit der Körper, die Absperrung von Luftarten durch Wasser und Quecksilber, die Anwendung von Luftabzugslöchern (Windpfeifen) an den Formen, welche beim Metallgusse benützt werden. — Warum lässt eine Flasche sich mit Wasser nicht füllen, wenn der Trichter z. B. mittelst eines Korkes luftdicht eingepasst ist und das Wasser rasch eingeschüttet wird? Warum wird die Flasche gefüllt, wenn das Wasser in einem dünnen Strahle eingegossen, oder wenn der Trichter gelockert wird?

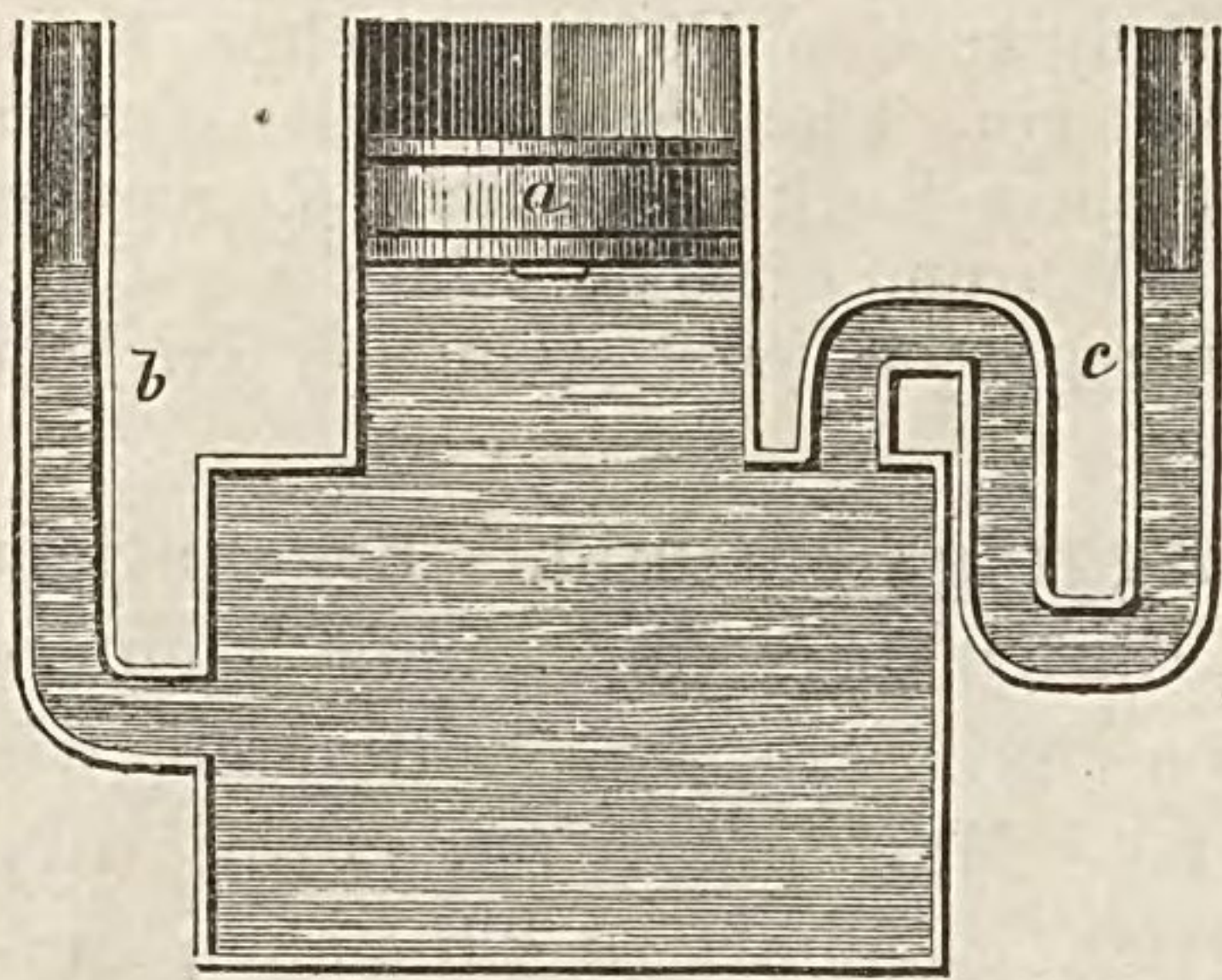
3. Theilbarkeit der Materie. Aggregatzustand. Bekanntlich lassen sich die Körper durch äussere Einwirkung in immer kleinere Theilchen zerlegen, welche alle dieselbe materielle Beschaffenheit wie der ursprünglich gegebene Körper haben. Man nennt die Theilung bei welcher der Körper in mit ihm stofflich gleichartige Theilchen zerfällt, eine mechanische, und *die Möglichkeit, die Materie mechanisch zu theilen, heisst Theilbarkeit.* Weil sich die Theilung der Materie so weit fortsetzen lässt, dass die einzelnen Theilchen mit den Sinnen nicht mehr wahrgenommen werden können (färbende und riechende Stoffe); so nimmt man an, dass *die Materie* der Körper aus äusserst kleinen, sinnlich nicht mehr wahrnehmbaren Theilchen, *aus* sogenannten *Molekeln* besteht. *Die Molekel* denkt man sich *aus* noch kleineren mechanisch untheilbaren materiellen Theilchen, d. i. *aus Atomen zusammengesetzt.*

Jeder Körper, in sofern er aus stofflich gleichartigen Molekeln besteht, stellt ein Aggregat vor. Die Theilchen zeigen jedoch bei verschiedenen Körpern einen sehr verschiedenen Zusammenhang, was man aus dem ungleichen Widerstand erkennt, welchen verschiedene Körper

(z. B. Eisen, Holz, Wasser) der wirklichen Trennung oder Verschiebung ihrer Theilchen entgegensetzen. *Man unterscheidet* in Bezug auf diesen Widerstand drei Arten des Zusammenhanges der Körpertheilchen oder *drei Aggregatzustände*: den festen oder starren, den flüssigen und den luft- oder gasförmigen. *Ein Körper wird fest oder starr genannt, wenn er bei der Verschiebung oder Trennung seiner Theilchen einen merklichen Widerstand äussert. Flüssig heisst ein Körper, dessen Theilchen sich sehr leicht verschieben oder trennen lassen. Den luft- oder gasförmigen Körpern fehlt so zu sagen jeder Zusammenhang der Theilchen; statt desselben haben sie das Bestreben sich in ein grösseres Volumen auszubreiten. Dieses Bestreben der luftförmigen Körper sich immer mehr auszudehnen, wird Ausdehnbarkeit, sie selbst aber werden wegen dieses Bestrebens auch ausdehnbar flüssige Körper genannt.*

Feste Körper haben stets eine selbständige Gestalt. Die flüssigen Körper besitzen nur in kleinen Mengen eine eigene Form, die Kugel- oder Tropfengestalt, wesshalb sie auch tropfbare Flüssigkeiten heissen; in grösseren Mengen nehmen sie die Gestalt des Gefässes an, in welches sie gegeben werden. Die luftförmigen Körper können nur in einem allseitig luftdicht (hermetisch) geschlossenen Gefässe aufbewahrt werden, in welchem sie in Folge ihrer Ausdehnbarkeit sich vollständig ausbreiten und auf dessen Wände sie einen Druck ausüben. Bei festen Körpern pflanzt sich ein Druck fast nur nach der Richtung fort, in welcher derselbe ausgeübt wird, während bei Flüssigkeiten und Gasen in Folge der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen, ein Druck nach allen Seiten hin gleichmässig wirkt. Drückt man z. B. auf den Kolben *a* des mit einer Flüssigkeit gefüllten Gefässes (Fig. 5) nach abwärts, so steigt die Flüssigkeit in den

Fig. 5.



Röhren *b, c* um gleichviel. — Ein besonderes Merkmal der luftförmigen Körper besteht noch darin, dass sie sich äusserst leicht zusammendrücken lassen und bei abnehmendem Drucke wieder ausdehnen. — Nenne feste, flüssige und luftförmige Körper.

4. Erscheinung. Naturgesetz.

Kraft. Naturlehre. Ein in der Hand gehaltener Stein fällt zur Erde, wenn er ausgelassen wird. Ein Stück Eisen wird glühend, wenn man es ins Feuer legt; hingegen rostet dasselbe an einem

feuchten Orte. Mond und Sonne gehen auf und unter; der Himmel ist bald heiter, bald bewölkt. Die Körper bleiben also nicht immer dieselben, sondern verändern sich; ja es finden in der Natur überhaupt Veränderungen statt. *Jede Veränderung im Zustande eines Körpers und in der Natur wird eine Erscheinung*, oder wenn sie seltener ist (Erdbeben, Sonnenfinsterniss), ein Phänomen genannt.

Mag nun eine Erscheinung ohne unser Zuthun auftreten (Regen, Donner), oder von uns absichtlich hervorgerufen sein (Glühen des Eisens, Tönen einer Saite), so finden wir bei aufmerksamer Beobachtung, dass sie nur unter gewissen Umständen eintritt. So regnet es nur bei bewölktem Himmel; die Saite tönt nur, wenn sie gespannt ist. Um also eine Erscheinung genau kennen zu lernen, müssen wir die sie begleitenden, für ihr Eintreffen wesentlich nothwendigen Umstände,

d. i. ihre Bestimmungsstücke ermitteln, was nur durch eine aufmerksame Beobachtung der Erscheinung möglich wird. Damit wir Erscheinungen leichter und sicherer beobachten können, rufen wir dieselben oft absichtlich hervor, d. h. wir stellen Versuche oder Experimente an. Sind die Bestimmungsstücke einer Erscheinung gefunden, so wird der Zusammenhang derselben mit der aus ihnen folgenden Erscheinung in Form eines Satzes ausgesprochen, welcher das Gesetz der Erscheinung oder ein Naturgesetz genannt wird. Z. B. wenn in einem Trichter, dessen Rohr eng ist und an den Hals der Flasche luftdicht anschliesst, Wasser in einem dicken Strahle eingegossen wird, so bleibt das Wasser im Trichter stehen.

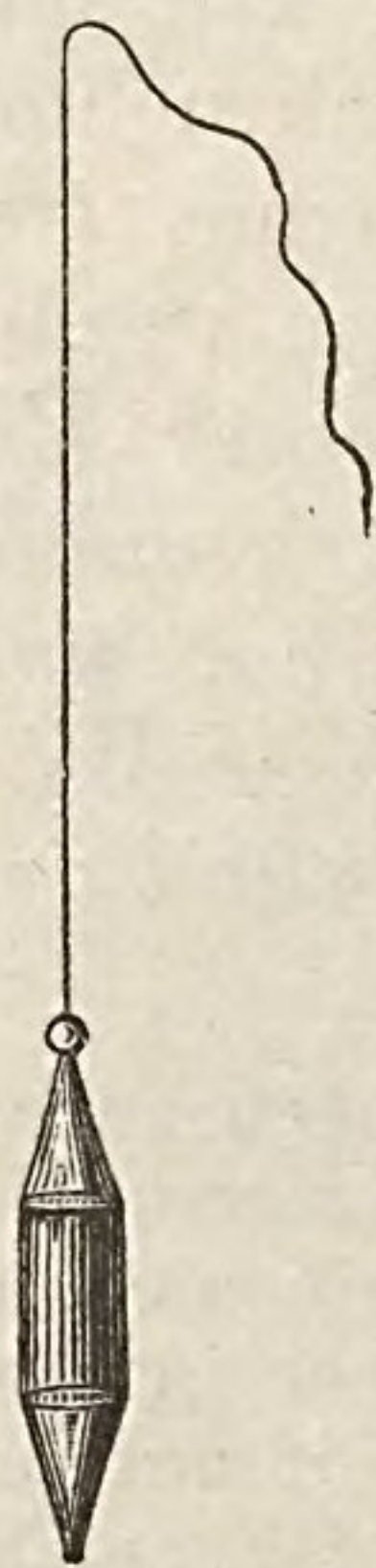
Ist ein Naturgesetz aufgefunden, so entsteht die Frage: warum befolgt die Erscheinung dieses bestimmte Gesetz, oder was ist die Ursache, dass die Erscheinung bei den sie bedingenden Umständen eintritt? — Die Ursache einer Erscheinung angeben, heisst die Erscheinung erklären. In dem vorigen Beispiele finden wir die Ursache in der Undurchdringlichkeit der Materie. Oft hängen mehrere Erscheinungen so zusammen, dass die eine Ursache der andern ist. Wenn z. B. ein Stein oder ein anderer gewichtiger Körper am Ende einer Schnur befestigt und diese am andern Ende ganz frei gehalten wird, so erscheint die Schnur straff gespannt; wir verspüren zugleich dass der Stein einen Zug nach abwärts ausübt und sehen den Stein fallen, wenn er ausgelassen wird. Die Spannung der Schnur erklärt sich aus dem Zuge, dieser aus dem Bestreben des Steines zu fallen. Für das Fallbestreben des Steines finden wir keine sinnlich wahrnehmbare Ursache; wir nehmen daher zur Erklärung des Falles eines frei ausgelassenen Körpers an, dass derselbe von der Erde angezogen werde. *Eine solche, sinnlich nicht mehr wahrnehmbare Ursache einer Erscheinung oder einer Reihe von Erscheinungen, wird Kraft genannt. Die Gesetze, nach welchen die Naturerscheinungen verlaufen, und die denselben als Ursache zu Grunde liegenden Kräfte in ihrer Wirkungsweise kennen zu lehren, ist im allgemeinen der Gegenstand der Naturlehre oder Physik.*

Um die verschiedenen in der Natur vorkommenden Erscheinungen zu erklären, mussten auch verschiedene Kräfte angenommen werden. Das eigentliche Wesen dieser Naturkräfte kennen wir nicht; wir erfahren das Dasein und die Wirkungsweise derselben nur dadurch, dass unter ihrem Einflusse Körper in neue Zustände versetzt werden oder Veränderungen erleiden, welche wir mit unseren Sinnen wahrzunehmen vermögen. Die Naturlehre muss sich daher auf Versuche und Beobachtungen, also auf die Erfahrung gründen; die Naturlehre ist demnach eine Erfahrungswissenschaft.

II. VON DER SCHWERE.

5. **Bleiloth.** Versuch *a)* Eine Schnur hängt schlaff herab, wenn man sie an dem einen Ende frei in der Hand hält; dagegen erscheint sie überall in der Richtung von oben nach unten geradlinigt gespannt, sobald an dem andern Ende ein gewichtiger Körper befestigt ist (Fig. 6).

Fig. 6.



Eine Schnur, an deren einem Ende ein nicht zu leichter Körper befestigt ist, heisst Bleiloth oder Loth schlechthin, Senkel oder Senkblei. Die Richtung, welche durch das frei und ruhig hängende Bleiloth angegeben wird, nennt man lothrecht, vertical oder scheitelrecht.

Unterschied zwischen senkrecht und lothrecht. Zenith und Nadir.

Versuch *b)* Hält man das Loth frei über eine ruhige Wasseroberfläche und legt den einen Schenkel eines rechten Winkels unten an das ruhig hängende Bleiloth, so kommt der andere Winkelschenkel genau auf die Wasserfläche zu liegen, an welche Seite des Lothes der rechte Winkel auch angelegt werden mag.

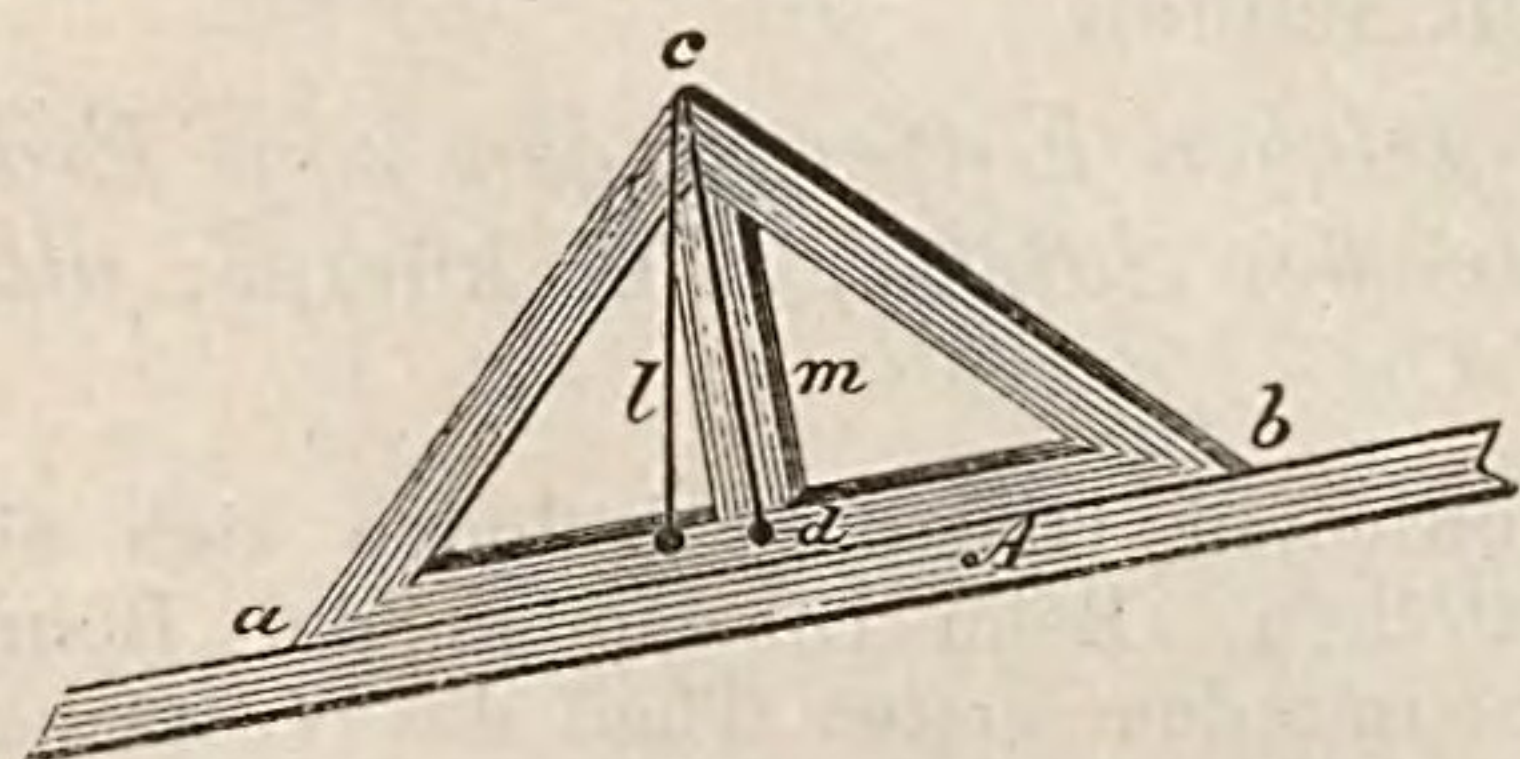
Die Richtung eines ruhig hängenden Bleiloths steht auf einer ruhigen Wasserfläche senkrecht. *Eine Ebene, auf welcher die Verticale senkrecht steht, wird daher wasserrecht, auch wagerecht oder horizontal genannt.* Die Lothlinie eines Ortes steht auch auf dem Horizonte desselben, mithin auf der Erdoberfläche selbst senkrecht. Weil nun die auf einer Kugelfläche senkrechten Geraden in ihrer Verlängerung durch den Mittelpunkt der Kugel gehen, und weil die Erde nahezu als eine Kugel angesehen werden kann, so folgt, dass *die Lothlinie eines Ortes in ihrer Verlängerung durch den Erdmittelpunkt geht* und dass daher die Verticalen zweier Orte im Centrum der Erde sich schneiden. Sind jedoch zwei Orte nicht sehr weit von einander entfernt, so können ihre Lothlinien immerhin als parallel angesehen werden, da der Halbmesser der Erde etwa 859 geograph. Meilen beträgt.

Das Bleiloth kann benützt werden:

1) um zu beurtheilen, ob ein Gegenstand vertical steht, wie diess z. B. die Maurer beim Aufführen des Mauerwerkes thun;

2) um zu ermitteln, ob eine Ebene horizontal liegt. Zu diesem Zwecke wird die Schrott- oder Setzwage verwendet. Dieselbe besteht (Fig. 7) aus

Fig. 7.



einem Brette abc , von der Form eines gleichschenkligen Dreieckes, von dessen Spitze aus senkrecht gegen die wohlgeebene Basis eine Furchung cd eingeschnitten ist, die unten in einen kugelförmigen Ausschnitt d endet. An der Spitze des Dreieckes ist ein Loth l befestigt. Wird die Setzwage auf die Ebene A gestellt und spielt das Loth in die Furchung ein, so ist A wagerecht. Hat A eine grössere Ausdehnung, so müssen mehrere Proben

angestellt werden. Welcher Theil einer Fläche liegt niedriger, wenn das Loth nicht einspielt? — Richtscheit.

6. Schwere. Schwerkraft. Versuch *a*) Hebt man den unten befestigten Körper des frei hängenden Lothes empor und lässt ihn wieder aus, so bewegt derselbe sich gegen den Boden zu, d. h. er fällt, und zwar so weit als es die Länge der Schnur gestattet — ja er fällt zu Boden, wenn die Schnur des Lothes ausgelassen oder zerschnitten wird.

Versuch *b*) Ein neben dem ruhigen Lothe ausgelassener Stein fällt genau längs der Schnur zur Erde. Wiederhole den Versuch an verschiedenen Orten, mit verschiedenen Körpern.

Alle Körper haben das Bestreben sich der Erde in verticaler Richtung so weit als möglich zu nähern, und fallen wenn sie nicht gehindert sind, vertical abwärts. Das Bestreben der Körper zur Erde zu fallen, heisst Schwere, und die Körper werden desshalb schwer genannt. Aus der Schwere der Körper müssen wir auf das Vorhandensein einer Kraft schliessen, mit welcher die Erde alle Körper anzieht. Diese Anziehungskraft der Erde heisst Schwerkraft.

Die Schwerkraft wird auch oft kurzweg Schwere genannt. — Obgleich die Wolken in der Luft schweben und der Rauch emporsteigt, so müssen doch beide als schwer angesehen werden, gleichwie wir ein Stück Kork nicht deshalb schwerlos nennen, weil es auf dem Wasser schwimmt und im Wasser emporsteigt.

Da die Körper aus verschiedenen Höhen zur Erde fallen (Hagel, Regen, die aus Vulkanen geschleuderten Körper), da die Erde selbst auf den gegen 50.000 Meilen entfernten Mond anziehend wirkt so folgt:

1. *Die Schwerkraft ist eine in die Ferne wirkende Kraft. Dieselbe wirkt auf einen Körper jedoch $2 \times 2 = 4$, $3 \times 3 = 9$, $4 \times 4 = 16$ u. s. w. mal schwächer ein, wenn derselbe 2, 3, 4 u. s. w. mal weiter von der Erde entfernt ist.*

Aus Versuch *b*) und §. 5 ergibt sich:

2. *Die Schwerkraft sucht alle Körper in verticaler Richtung gegen den Erdmittelpunkt hinzuziehen, als ob sie im Centrum der Erde ihren Sitz hätte. Die Lothlinie wird daher auch die Richtungslinie der Schwerkraft genannt.*

Versuch c) Ein Stückchen Papier und eine Münze in gleicher Höhe ausgelassen, kommen nicht gleichzeitig am Boden an; es hat den Anschein als ob die Münze von der Erde stärker angezogen würde als das Papier. Wird jedoch das Papier auf die Münze gelegt und diese in mässiger Höhe ausgelassen, so kommen beide Körper zugleich am Boden an, fallen also gleich schnell.

3. Die Schwerkraft wirkt bei gleichen Entfernungen vom Erdmittelpunkte auf alle Körper mit gleicher Stärke; oder kürzer: alle Körper sind gleich schwer.

Versuch d) In einer möglichst luftleeren Glasröhre befinden sich ein Stückchen Papier und ein kleines Bleiplättchen. Beim Umwenden der Röhre fallen Papier und Blei gleich schnell. Dies mit dem ersten Theil des Versuches c) verglichen zeigt, dass die Luft die Ursache ist, wesshalb dort die Münze früher am Boden ankommt als das Papier. Der fallende Körper muss nämlich die Luft vor sich auf die Seite drängen (vgl. §. 2), was er um so leichter vermag, eine je grössere Masse im Verhältniss zu seiner Oberfläche er besitzt. Wie kommt es also, dass Papier und Münze gleich schnell fallen, wenn jenes auf dieser liegt? — Warum darf hiebei das Papier nicht über den Rand der Münze hervorragen? — Warum beweist der Versuch nichts, wenn die Münze über dem Papier liegt und beide fallen gelassen werden? — Galilei (geb. 1564 zu Pisa, gest. 1642) hat den Satz 3) zuerst ausgesprochen.

Versuch e) Zerschlägt man einen Körper in noch so kleine Theile, so fallen diese wie vorher der ganze Körper zur Erde. Ebenso fallen Regentropfen, Feilspäne, Sand u. dgl.

4. Die Schwerkraft wirkt auf alle noch so kleinen materiellen Theilchen der Körper anziehend ein. Auf jeden Körper wirken daher unzählig viele Kräfte, welche die einzelnen Theilchen desselben in Richtungen zu bewegen suchen, die als parallel angesehen werden können.

7. Schwerpunkt. Versuch a) Eine kreisrunde Papierscheibe bleibt in Ruhe, wenn man sie im Mittelpunkte auf die Spitze einer verticalen Nadel stellt; dieselbe fällt herab, wenn sie in einem andern Punkte auf die Nadel gesetzt wird. — Steckt man die wagrecht gehaltene Nadel durch den Mittelpunkt der Scheibe, so bleibt diese in Ruhe oder, wie man zu sagen pflegt, im Gleichgewicht, mag man ihr durch Drehen welche Stellung immer geben. Ist aber die Nadel durch einen andern Punkt der Scheibe gestochen, so geräth diese in Drehung und bleibt nur in Ruhe, wenn der Punkt des Durchstichs und das Centrum in einer verticalen liegen.

In jedem Körper gibt es einen Punkt, bei dessen Befestigung der Körper nicht nur nicht fällt, sondern bei jeder Lage in Ruhe oder im Gleichgewichte bleibt. Dieser Punkt wird Schwerpunkt und jede durch ihn gehende Gerade eine Schwerlinie des Körpers genannt. — Ein Körper heisst aufgehängt oder unterstützt, je nachdem der Schwerpunkt unterhalb oder oberhalb der unmittelbar festgehaltenen Punkte liegt.

Wo liegt der Schwerpunkt bei der oben angewendeten Scheibe? — Die Uhr ist aufgehängt, der Tisch unterstützt. Unterstützungsfläche. Bezeichne Gegenstände, die aufgehängt und solche welche unterstützt sind.

Versuch b) Wird die Papierscheibe mittelst eines Fadens frei aufgehängt, so bleibt sie nur in Ruhe, wenn Schwerpunkt und Auf-

hängepunkt in derselben Verticalen sich befinden. — Die Scheibe bleibt auf einer Linealkante nur dann liegen, wenn ihr Schwerpunkt auf der Kante aufrucht. Im ersten Falle gibt die Verlängerung des Fadens, im zweiten die Linealkante eine Schwerlinie an.

Der Schwerpunkt eines Körpers (Fig. 8, 9) kann ermittelt werden, indem man durch Aufhängen oder durch Auflegen des Körpers auf eine horizontale Linealkante zwei Schwerlinien bestimmt; ihr Durchschnittspunkt s ist der gesuchte Schwerpunkt. Es ergibt sich hierbei,

Fig. 8.

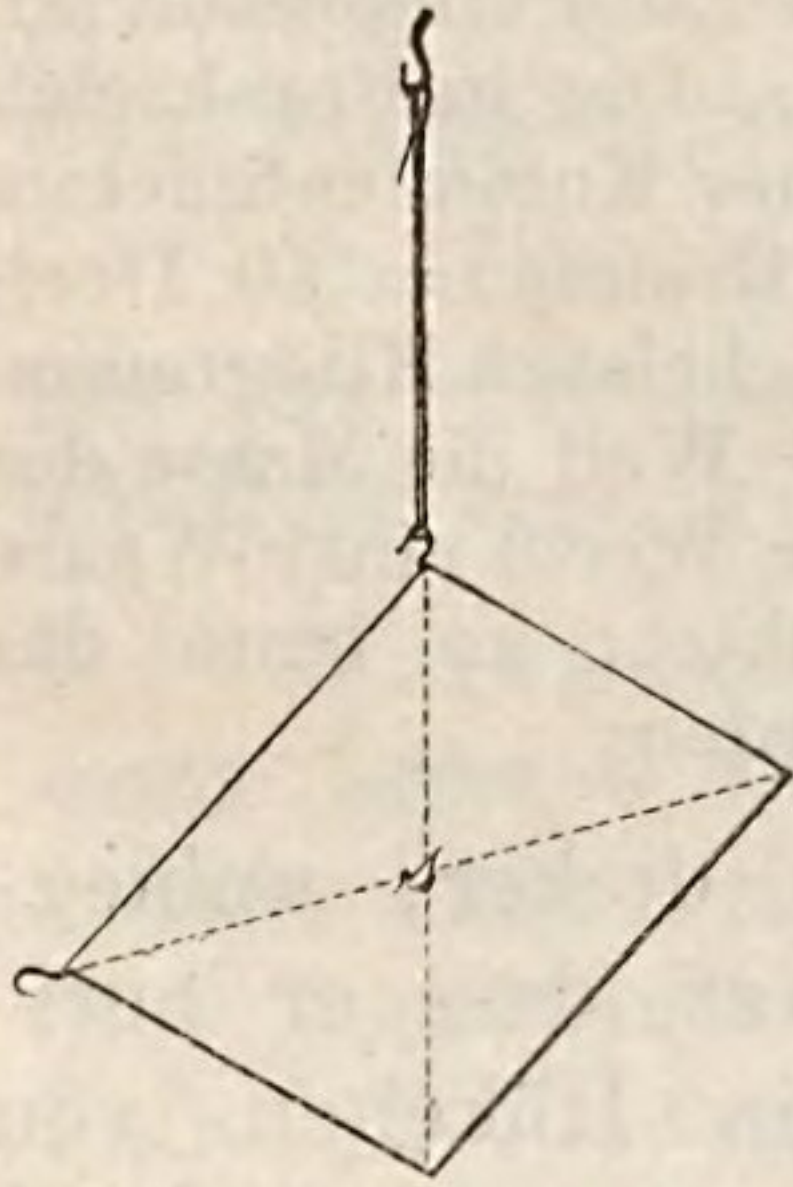
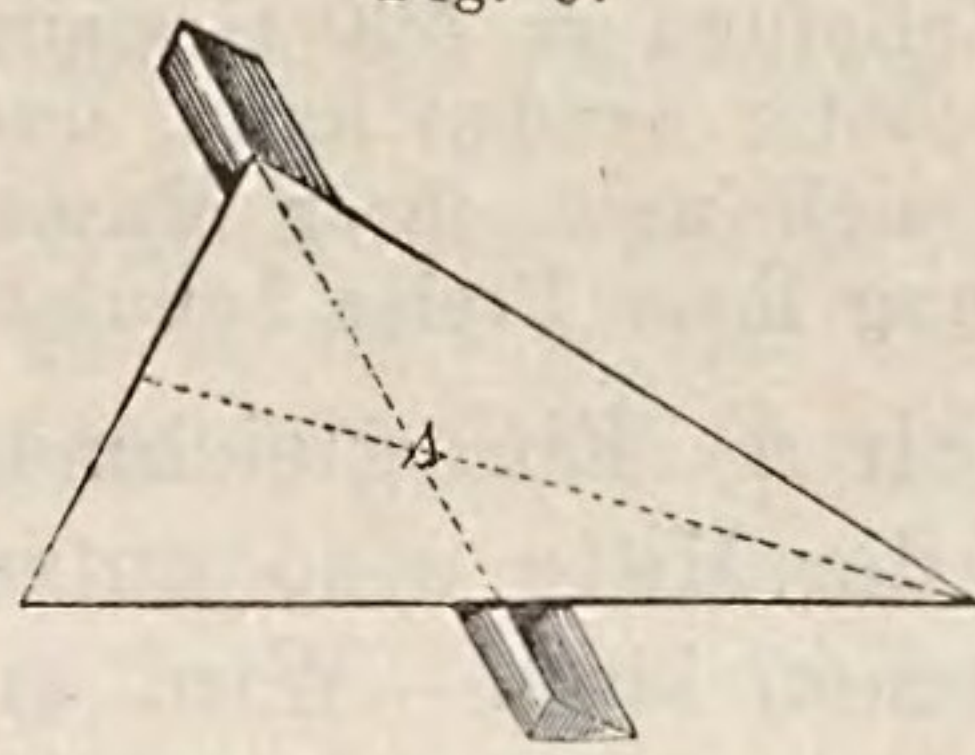


Fig. 9.



dass der Schwerpunkt immer nach jener Seite zu liegt, wo die grössere Masse sich befindet.

Auf diese Weise findet man, dass der Schwerpunkt einer Kugel im Centrum, bei einem geraden Cylinder oder einem senkrechten Prisma im Halbierungspunkte der Axe liegt, dass er bei einem Dreiecke mit dem Durchschnittspunkte der Geraden zusammenfällt, welche die Halbierungspunkte der Seiten mit dem gegenüberliegenden Ecken verbinden. Der Schwerpunkt eines Körpers kann auch ausserhalb seiner Masse liegen, wie es bei einem Ringe, einer Hohlkugel der Fall ist. Bestimme den Schwerpunkt eines Quadrats, eines Parallelogramms durch Versuche, jenen eines Dreieckes durch Zeichnung.

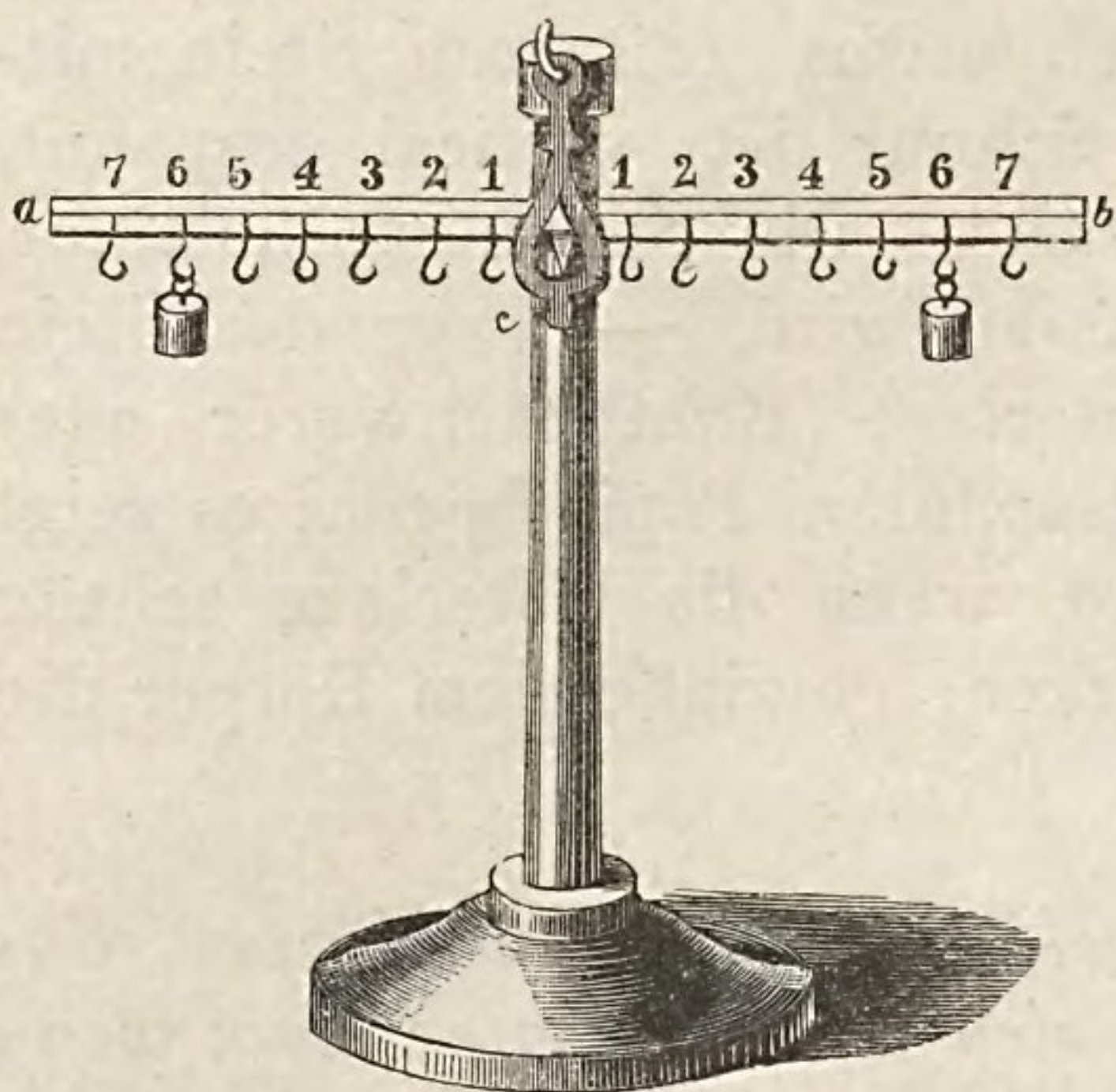
8. Gewicht. Versuch. Halte einen etwas grösseren Stein mittelst einer Schnur frei schwebend; die Schnur ist vertical gespannt, die Hand verspürt einen Zug nach abwärts. Die Spannung hört auf, der Stein fällt, wenn die Schnur ausgelassen wird. — Lege den Stein auf die flache Hand, auf eine weiche Unterlage (Briefbeschwerer) oder einen horizontal gehaltenen, schwach gespannten Papierbogen; es zeigt sich ein Druck, welcher schwächer wird, wenn die Unterlage schräg gehalten wird. Neige die Unterlage stärker; entziehe dem Körper die Unterlage ganz.

Die Schwere, welche an einem frei ausgelassenen Körper das Fallen, also Bewegung erzeugt, äussert sich als verticaler Zug, wenn der Körper aufgehängt ist, und als Druck auf die Unterlage bei einem unterstützten Körper. Dieser Druck ist am grössten, wenn die Unterlage horizontal liegt. Die Grösse des verticalen Zuges eines Körpers, oder seines Druckes auf die horizontale Unterlage wird das Gewicht des Körpers genannt. Man kann sich dasselbe im Schwerpunkte vereinigt denken. Da die Schwerkraft auf jedes Massentheilchen eines Körpers mit gleicher Stärke einwirkt, so drückt jedes Massentheilchen auf die Unterlage, und es wird daher das Gewicht eines Körpers 2, 3, 4 u. s. w. mal grösser als das eines andern sein, wenn er 2, 3, 4 mal mehr Masse besitzt. Das Gewicht wächst gerade so wie die Masse der Körper, so dass man diese nach jenem beurtheilen kann. Die Gewichtsbestimmung eines Körpers heisst wägen, das hiezu dienliche Instrument eine Wage.

Zwei Körper haben gleiches Gewicht, wenn sie einen gleichen verticalen Zug oder auf die horizontale Unterlage gleichen Druck ausüben, so dass sie in dieser Beziehung unter einander verwechselt werden können. Ein Körper *A* hat also ein 2, 3, 4, . . . mal grösseres Gewicht als der Körper *B*, wenn jener auf eine horizontale Unterlage so stark drückt als 2, 3, 4, . . . dem *B* gleichgewichtige Körper. Um daher das Gewicht eines Körpers in Zahlen ausdrücken zu können, muss man das Gewicht eines Körpers als Einheit annehmen und untersuchen, wie viele Gewichtseinheiten und Bruchtheile derselben den gleichen verticalen Druck oder Zug bewirken wie der zu untersuchende Körper. In Oesterreich gilt als Gewichtseinheit das Wiener Pfund, welches in 32 Loth eingetheilt ist. 1 Loth = 4 Quentchen = 240 Gran; 100 Pfd. = 1 Centner. Die in Frankreich übliche Gewichtseinheit ist das Gramm, d. i. das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen (destillierten) Wassers bei 4 Grad C. Wärme. 1 Gramm = 10 Decigramm = 100 Centigramm = 1000 Milligramm. 1000 Gramm heissen Kilogramm. 1 W. Pfund = 560 Gramm; 1 Zollpfund = 500 Gramm. — Weil die Masse der Körper nach dem Gewichte abgeschätzt werden kann, und der Werth einer Waare bei sonst gleicher Beschaffenheit sich nach ihrer Masse richtet; so kann das Gewicht der Körper zur Feststellung ihrer Preise benutzt werden.

9. Der Hebel. Versuch *a*) Ein gleichmässig dicker, unbiegsamer Stab (Fig. 10), sei in der Mitte *c* so unterstützt, dass er horizontal liegt und sich um *c* drehen lässt. Wird an ein Häkchen von *ac* ein Gewicht, z. B. 1 Pfd. angehängt, so sinkt *ac*, während *cb* steigt und nur *c* in Ruhe verbleibt. Wird irgendwo in *cb* ein Gewicht angebracht oder ein Druck ausgeübt, so steigt *ac* und *cb* sinkt; in *c* angehängt erzeugt das Gewicht gar keine Bewegung. Eine solche Vorrichtung wird ein Hebel genannt.

Fig. 10.



*Der Hebel ist eine unbiegsame Stange, die um einen festen Punkt drehbar ist, der feste Punkt heisst Unterstützungspunkt oder die Drehungsachse. Am Hebel sind nur zweierlei Bewegungen möglich, indem jeder Punkt ausser *c* nur entweder von oben nach abwärts oder umgekehrt um den Unterstützungspunkt drehbar ist.*

Versuch *b*) Hängt je 1 Pfd. im Punkte 6 von *ac* und *bc*, so tritt keine Drehung ein; der Hebel bleibt ruhig in der horizontalen Lage. Hänge die Pfundgewichte oder andere unter sich

gleiche Gewichte in gleichen Abständen von *c* auf. Nennen wir die Ursache einer Bewegung oder Ortsveränderung Kraft, so haben wir den Zug und Druck der Gewichte auch als Kräfte anzusehen, da sie zur Bewegung anregen. [Vgl. Versuch *a*.] Heissen wir ferner den senkrechten Abstand des Drehpunktes von einer Kraft Hebelarm, und sagen wir von einem Körper, welcher in Ruhe bleibt, trotzdem bewegende Kräfte auf ihn einwirken: der Körper befinde sich im Gleichgewichte; so folgt aus dem vorigen Versuche das Gesetz:

1. Sind die Arme eines Hebels gleich lang, d. h. ist der Hebel ein gleicharmiger, so herrscht an ihm Gleichgewicht, wenn die Kraft, die an einem Arm wirkt, der am andern Arm wirkenden Kraft gleich ist.

Versuch c) Im Theilstriche 1 hängen beiderseits je 3 Loth; der Hebel ist horizontal. Nun werde das rechts befindliche Gewicht nach 2 gehängt, während das linke an der alten Stelle verbleibt: der Hebel ist rechts geneigt, kehrt aber in die horizontale Gleichgewichtslage zurück, wenn links in 1 das Gewicht verdoppelt wird. 3 Loth im 2. Theilstriche wirken mithin so stark wie 6 Loth im 1. Theilstriche. Hänge die drei Loth rechts ins 3., 4. Häkchen, und suche die Gewichte, welche links in 1 anzubringen sind, damit der Hebel sich jedesmal horizontal stelle. Es folgt:

2. *Eine Kraft regt um so viel mal stärker zur Drehung an, um wie viel mal ihr Hebelarm grösser wird. Man heisst daher das Product aus Kraft in ihren Hebelarm das Drehmoment der Kraft.*

Versuch d) Der Hebel bleibt in der horizontalen Ruhelage, wenn links 6 Loth in 4, und rechts 3 Loth in 8 angehängt werden, ebenso auch wenn links 12 Loth in 4 und auf der rechten Seite 8 Loth in 6 angebracht sind. Es ist $6 \times 4 = 3 \times 8 = 24$, und im zweiten Falle $12 \times 4 = 8 \times 6 = 48$. — Gewöhnlich wird der Zug oder Druck, welcher auf den einen Hebelarm einwirkt, Last, und der Hebelarm Lastarm genannt, während der am andern Arme wirkende Zug oder Druck vorzugsweise Kraft und ihr Hebelarm Kraftarm heisst. Nehmen wir an unserer Hebelvorrichtung links den Lastarm und rechts den Kraftarm an, so haben wir den Satz:

3. *An einem Hebel, dessen Arme verschieden lang sind, d. i. an einem ungleicharmigen Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn*

$$\text{Kraft} \times \text{Kraftarm} = \text{Last} \times \text{Lastarm}.$$

Oder: *am Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn das Drehmoment der Kraft dem Drehmomente der Last gleich ist.*

Ist der Lastarm = Kraftarm, so folgt aus 3) Kraft = Last, welches das Gleichgewichtsgesetz 1) für den gleicharmigen Hebel ist. Ein Hebel, dessen Drehpunkt zwischen Kraft und Last liegt, heisst ein zweiarmiger; hingegen wird ein Hebel einarmig genannt, wenn Kraft und Last auf derselben Seite des Drehpunktes liegen. An dem letzteren wirkt die Kraft abwärts, wenn die Last nach aufwärts gerichtet ist, und umgekehrt. Der Hebel ist mitunter gekrümmt oder winkelförmig, und heisst dann ein Winkelhebel. Übrigens gilt auch für den einarmigen und für den Winkelhebel das Gleichgewichtsgesetz 3); man muss nur festhalten, was unter Hebelarm zu verstehen ist. Von was hängt die Grösse des Drehungsmomentes einer Kraft ab?

Aus 3) folgt:

$$4) \text{ Kraft} = \frac{\text{Last} \times \text{Lastarm}}{\text{Kraftarm}}; \quad 5) \text{ Last} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Kraftarm}}{\text{Lastarm}}.$$

Man kann darnach für den Zustand des Gleichgewichtes am Hebel Kraft und Last, sowie die Länge der Hebelarme berechnen, wenn die drei andern Grössen bekannt sind. Die Arme müssen aber in derselben Längeneinheit, Kraft und Last in derselben Gewichtseinheit ausgedrückt werden. Da aber am Hebel nicht immer bekannte Gewichte als Kräfte wirken, so entsteht die Frage:

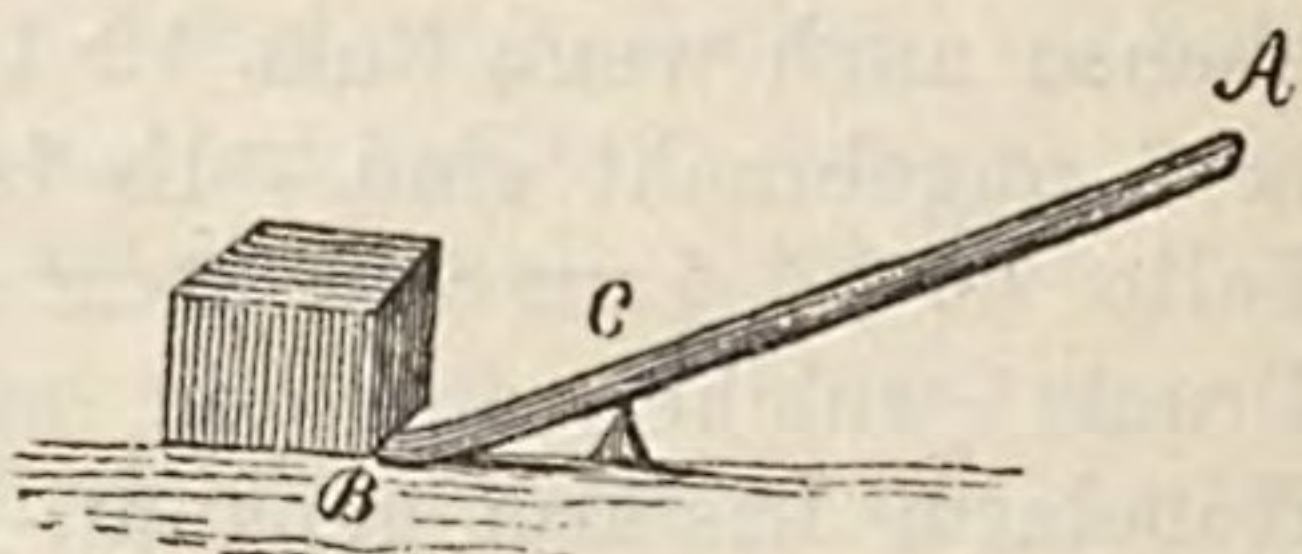
Wie kann man Kräfte messen? Versuch e). Im gleichvielten Theilstriche hängen rechts und links von c je ein Pfund; es herrscht Gleichgewicht. Man nehme das Pfund rechts weg und drücke an dessen Aufhängestelle mit der Hand so stark, dass der Hebel sich

wieder horizontal stellt. Die Hand bringt unter ganz gleichen Umständen dieselbe Wirkung hervor, wie früher das Pfundgewicht; die Stärke der von der Hand angewendeten Muskelkraft ist daher dem Zuge eines Pfundes gleich. Hingen links 20 Pfunde und würde die im gleichvielten Theilstriche rechts drückende Hand den Hebel horizontal stellen, so wäre die Stärke dieses Druckes dem Zuge von 20 Pfunden gleich zu setzen.

6. Man kann als Krafteinheit den Zug oder Druck eines Pfundes ansehen, und die Stärke der Kräfte durch Gewichte ausdrücken.

Der Hebel, dessen Gesetze Archimedes (geb. 287 v. Chr. zu Syrakus, gest. 212 v. Chr.) zuerst gefunden hat, erfährt im praktischen Leben die vielfältigsten Anwendungen. Die aus einem Brette bestehende Schaukel ist ein zweiarmiger Hebel; die Zange, die gewöhnliche Scheere sind Verbindungen von zwei zweiarmigen Hebeln; der Widerstand des zu zerdrückenden oder zu zerschneidenden Körpers ist die Last, der Druck der Hand die Kraft. Das Brecheisen wird beim Heben eines Körpers (Last) als zweiarmiger (Fig. 11), beim Fortschieben eines Körpers als einarmiger Hebel benutzt. Zeige dies mit einem Lineal und einem Buche. Wo wird hiebei der Unterstützungspunkt am vortheilhaftesten angebracht sein?

Fig. 11.

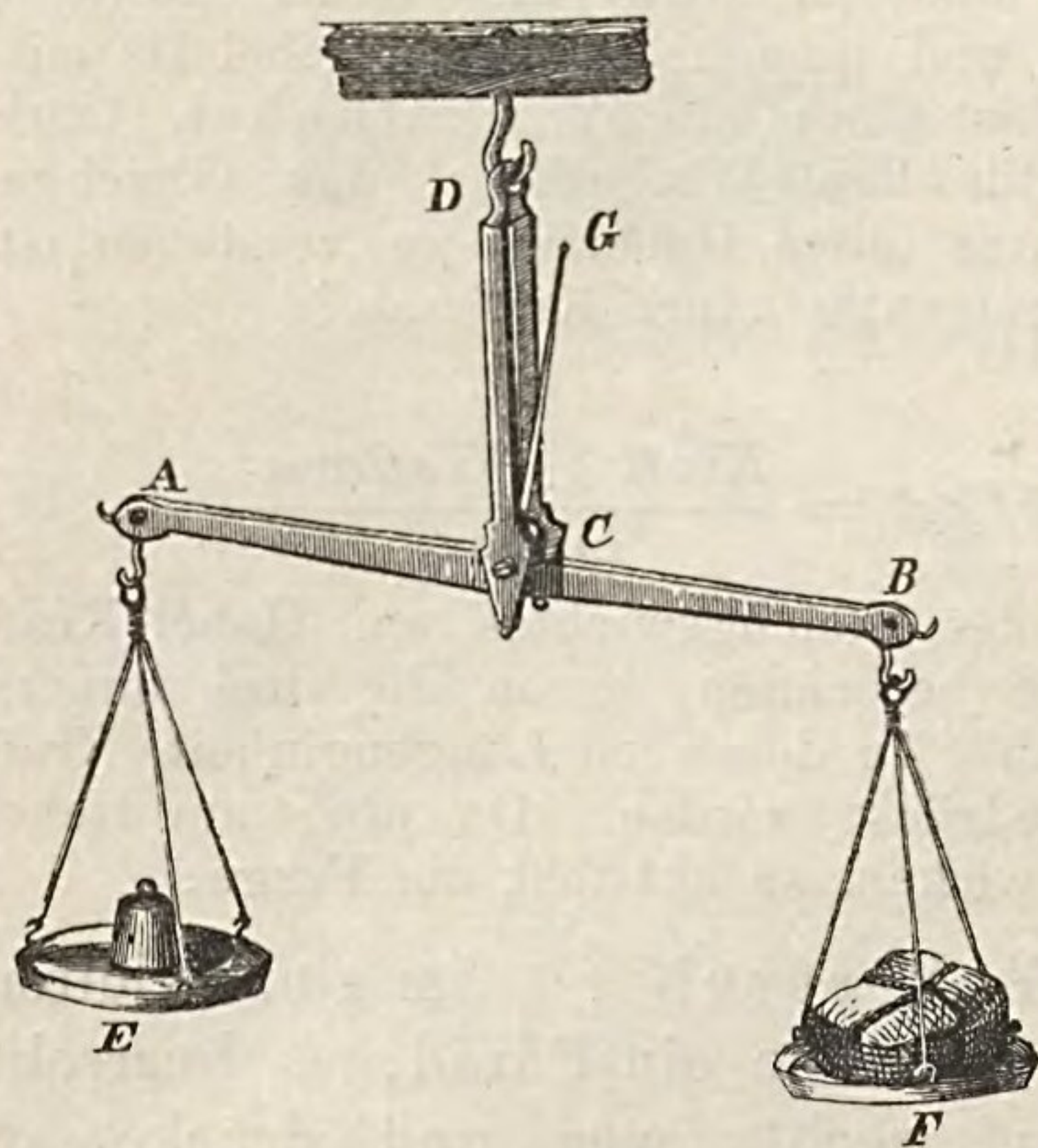


Die Zuckerzange, die Schaafscheere sind Verbindungen zweier einarmiger Hebel. Wo liegt hier der Drehpunkt, was ist Kraft und Last? — Die Kinnlade des Menschen ist ein einarmiger Hebel. Sind noch andere Gliedmassen des menschlichen Körpers Hebel? Schubkarren, Thürklinke, Ruder u. s. w. Als was wirkt der Hammer beim Herausziehen eines Nagels?

10. Die Krämerwage. Würde im 6 Theilstriche auf der linken Seite des oben gebrauchten Hebels (Fig. 9) ein Körper angehängt, und es hielten ihm 3 Pfund, welche rechts im 6. Theilstriche angreifen, bei horizontaler Stellung des Hebels das Gleichgewicht; so könnten wir nach 1) §. 9 sagen, der Körper wiegt 3 Pfund. Wir sehen hieraus, dass der gleicharmige Hebel als Wage benutzt werden kann. Dies geschieht bei der gemeinen oder *Krämerwage*, mit

welcher dem Gesagten zufolge das Gewicht eines Körpers durch ein ihm gleiches bekanntes Gegengewicht bestimmt wird.

Fig. 12.

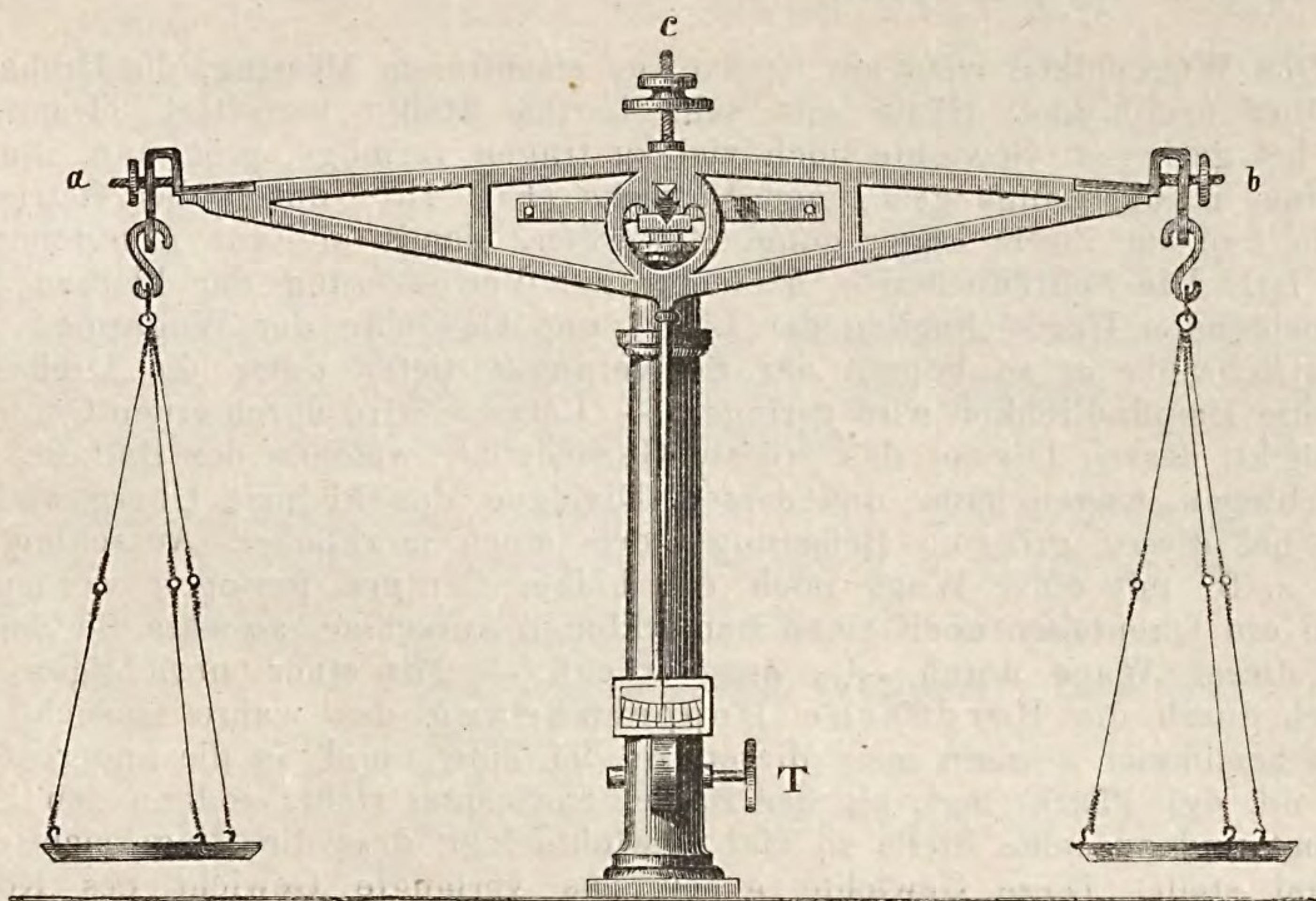


Die Krämerwage besteht (Fig. 12, 13) aus einem gleicharmigen Hebel AB , ab , dem Wagebalken, welcher um eine auf ihm senkrecht stehende, nach unten zugespitzte Achse aus Stahl sehr leicht drehbar ist. Mit der Achse ruht der Wagebalken entweder in einer zweizinkigen Gabel, d. i. in der Scheere CD , welche oben gehalten in Folge ihres Gewichtes sich lothrecht stellt, oder auch auf einer vertical zu stellenden Säule. Die Unter-

lage der Achse ist aus sehr hartem Stahl oder auch aus Achat. An

den Enden des Wagebalkens hängen an Haken oder Schneiden mittelst Schnüren oder besser mit feinen Drähten die tellerförmigen Schalen EF , wovon die eine zur Aufnahme des abzuwägenden Körpers, die andere zur Aufnahme der Gewichte bestimmt ist. Um die horizontale Stellung des Wagebalkens zu erkennen, ist derselbe mit einem Stäbchen CG , die Zunge genannt, versehen, welches senkrecht auf Wagebalken und Achse steht und entweder nach auf- oder abwärts gekehrt ist. Weist die Zunge auf ein an der Scheere befindliches Absehen, oder auf den Nullpunkt eines an der Tragsäule angebrachten Gradbogens, so liegt der Wagebalken horizontal. Die Abstände der Aufhängepunkte der Wageschalen von der Drehschneide heissen die Arme des Wagebalkens.

Fig. 13.



Die Wage ist richtig, d. h. gibt das Gewicht der Körper fehlerlos an,

1. wenn die Arme gleich lang sind; denn gleiche Gewichte sollen den Balken horizontal stellen (1. §. 9).

2. wenn die Arme gleiches Gewicht haben und ihre Schwerpunkte von der Drehschneide gleich weit entfernt sind. (§. 8 und 1 §. 9). Der Wagebalken muss also nach Wegnahme der Schalen jederzeit horizontal stehen.

3. wenn die Schalen sammt den mit ihnen verbundenen Aufhängemitteln gleiches Gewicht haben. Diese und die Bedingung 1. sind erfüllt, wenn der Wagebalken selbst bei einer Verwechslung der Schalen horizontal steht. Die Aufhängepunkte der Schalen müssen mit dem Drehpunkte des Balkens in einer Geraden liegen.

Wird in die eine Schale ein Übergewicht gelegt, so nimmt der Balken eine schräge Stellung an; die Zunge bildet mit der durch das Absehen gehenden Verticalen einen Winkel, welcher Ausschlags-

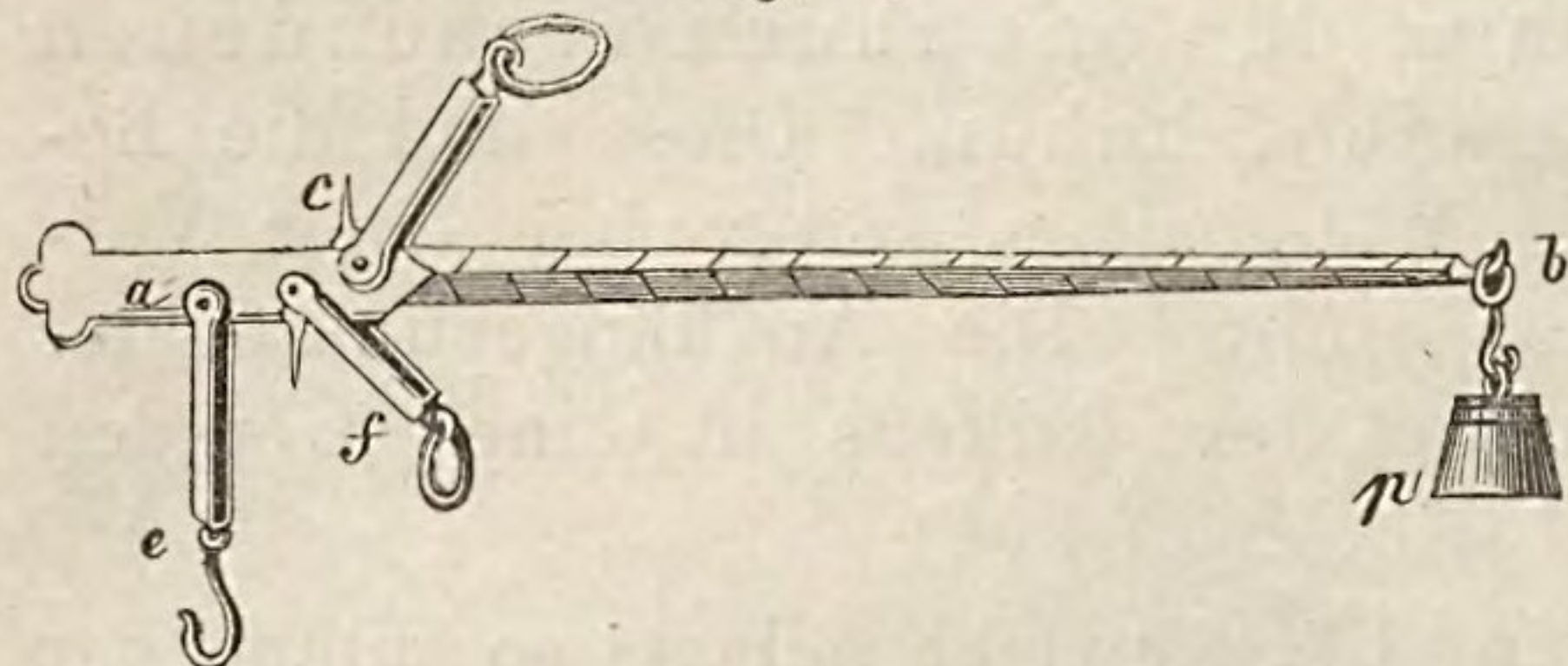
winkel genannt wird. Die Fähigkeit der Wage, die Ungleichheit der in den Schalen befindlichen Gewichte durch den Ausschlagswinkel anzuzeigen, heisst Empfindlichkeit. Dieselbe ist um so grösser ein je bedeutenderer Ausschlag durch ein bestimmtes Übergewicht erzeugt wird. Eine Wage ist desto empfindlicher: *a*) je länger ihre Arme sind (2. §. 9); *b*) je leichter der Wagebalken und je geringer seine Belastung ist; *c*) je näher der Schwerpunkt desselben an der Drehschneide liegt. Der Schwerpunkt muss aber unterhalb der Axe liegen, weil nur dann der Wagebalken nach Wegnahme des in einer Schale befindlichen Übergewichtes in die horizontale Gleichgewichtslage zurückkehrt. In der Drehaxe darf der Schwerpunkt nicht liegen, weil der Balken sonst in jeder Stellung im Gleichgewichte wäre (§. 7 Versuch *a*) und bei dem kleinsten Übergewichte sich vertical stellt.

Der Wagebalken wird am besten aus eisenfreiem Messing, die Drehaxe in Form einer dreiseitigen Säule aus sehr hartem Stahle verfertigt. Damit der Balken bei geringem Gewichte doch viel zu tragen vermöge, gibt man ihm die Form eines in die Länge gezogenen Vierecks (Fig. 13); durch das Getriebe *T* kann die Axe aus ihrem Lager gehoben werden, damit sie vor Abnützung geschützt ist. Die Schraubchen *a*, *b* dienen zur Verbesserung der kleinen, nicht zu vermeidenden Ungleichheiten der Länge und Gewichte der Wagarme. Senkt man die Schraube *c*, so kommt der Schwerpunkt tiefer unter die Drehaxe zu liegen, die Empfindlichkeit wird geringer. — Letztere wird durch einen Quotienten ausgedrückt, dessen Divisor das grösste Gewicht ist, welches der Balken, ohne sich zu biegen, tragen kann, und dessen Dividend das kleinste Übergewicht ist, welches bei dieser grössten Belastung noch einen merklichen Ausschlag gibt. Könnte z. B. mit einer Wage noch ein halber Centner gewogen werden und erzeugte ein Quentchen noch einen bemerkbaren Ausschlag, so wäre die Empfindlichkeit dieser Wage durch $\frac{1}{6400}$ ausgedrückt. — Mit einer unrichtigen Wage lässt sich durch die Borda'sche Doppelwägung das wahre Gewicht eines Körpers bestimmen, wenn man diesen in die eine, und in die andere Schale Schrott od. dgl. (Tara) legt, bis der Balken horizontal steht, sodann den Körper wegnimmt und an seine Stelle so viel Gewichte legt, dass die Wage sich wieder horizontal stellt. Diese Gewichte geben das verlangte Gewicht des Körpers. (Warum? — §. 9.) Wie kann nach diesem Verfahren von einem Stoffe ein bestimmtes Gewicht genau abgewogen werden?

11. Die Schnellwage. Setzen wir in der Gleichung 5) §. 9 die Kraft = 1 Pfd.; so wird die Last = $\frac{\text{Kraftarm} \times 1 \text{ Pfd.}}{\text{Lastarm}}$, d. h. es

wiegt die Last so viele Pfunde wie oft der Lastarm im Kraftarm enthalten ist. Hätte man also einen ungleicharmigen Hebel, welcher um die in einer Scheere (Fig 14) ruhende Achse drehbar ist, im unbe-

Fig. 14.



lasteten Zustande horizontal liegt, und bei welchem der kürzere Arm *a c* als Lastarm auf dem längeren Kraftarm *c b* so oft als es angeht aufgetragen ist; liesse sich ferner das Gewicht *p* (z. B. 1 Pfd.) welches Laufgewicht heisst, auf *c b* hin

und her schieben, so würde diese Vorrichtung eine ganz geeignete Wage abgeben, indem die Zahl des Theilstriches, wo das Laufgewicht

hängen muss, um den abzuwägenden, am Haken e aufgehängten Körper das Gleichgewicht zu halten, mit dem Laufgewichte multipliciert das Gewicht des Körpers angibt. Eine derartig eingerichtete Wage heisst Schnellwage.

Oft ist noch eine zweite, dem Haken e näher liegende Scheere f vorhanden, bei deren Benutzung die Wage umgekehrt und der Haken e umgeschlagen wird; es gilt dann die untere Scala. — Ist die Schnellwage im unbelasteten Zustande horizontal, so heisst sie eine mathematische; im Gegentheile eine physische. Für die Letztere erhält man die Scala, indem man an den Haken e nach und nach verschiedene bekannte Gewichte anhängt, für jedes einzelne die entsprechende Stellung des Laufgewichtes ermittelt und an jeder Stelle die Zahl der in e befindlichen Gewichte notiert.

12. Specifisches Gewicht und Dichte. Mittels der Wage findet man, dass das *Gewicht eines Körpers genau so wächst wie das Volumen*. Um nun das Gewicht der Körper nach ihrem Volumen berechnen zu können, hat man für die Körper das Gewicht der Volumeinheit z. B. eines Kubikzolls bestimmt, wobei sich herausstellte, dass dieses Gewicht für verschiedene Körper sehr verschieden, für denselben Körper aber bei gleichen Wärmeverhältnissen stets gleich gross ist. Weil demnach *das Gewicht der Volumeinheit* eines Körpers als ein charakteristisches, ihn von andern Körpern unterscheidendes Merkmal sich erweist, so *hat man dasselbe specifisches Gewicht genannt*.

Ein Kubikzoll Wasser wiegt (bei 4° C.) 250·6 Gran, 1^k Kupfer wiegt 9·3 Loth; daher wiegen 2^k Wasser $2 \times 250·6 = 501·2$ Gran; 5^k Kupfer wiegen $5 \times 9·3 = 46·5$ Loth. Es ist also

$$1) \quad . \quad . \quad . \quad \text{Gewicht} = \text{Volum} \times \text{specif. Gewicht.}$$

Die Gewichte der Körper wachsen daher bei gleichem Volumen gerade so wie die specifischen Gewichte.

Aus 1) folgt auch:

$$2) \quad . \quad . \quad . \quad \text{Specif. Gewicht} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volum}}.$$

Versuch. Legt man in die eine Wagschale 1^k Kupfer und in die andere 1^k Wasser, so sinkt die erstere Schale und man muss um den Balken horizontal zu stellen, in die letztere Schale etwa 8·9^k Wasser geben. Es wiegt also 1^k Kupfer 8·9mal so viel als 1^k Wasser; mithin hat auch 1^k Kupfer 8·9mal mehr Masse als 1^k Wasser (§. 8). Ähnlich hat man gefunden dass 2^k Silber nahezu 10·5mal, hingegen 2^k Kork nur 0·24mal so viel wiegen als 2^k reines Wasser.

Die Zahl, welche angibt, wie oft das Gewicht eines Volums reinen Wassers in dem Gewichte eines Körpers von gleichem Volumen enthalten ist, wird die *Dichte dieses Körpers genannt*. Diese Zahl gibt auch an, um wie viel mal mehr Masse in dem Volumen eines Körpers enthalten ist, als in einem gleichen Volumen reinen Wassers. Es ist daher auch

$$3) \quad . \quad . \quad . \quad \text{Dichte des Körpers} = \frac{\text{Specif. Gewicht des Körpers}}{\text{Specif. Gewicht des Wassers}}.$$

Wird das specif. Gewicht des Wassers als Einheit angenommen, wie das beim französischen Gewichtssysteme der Fall ist; so wird das specif. Gewicht durch dieselbe Zahl ausgedrückt wie die Dichte. In Folge davon werden specif. Gewicht und Dichte oft für gleichbedeutend genommen. — Aus 3) folgt, dass die Dichte des Wassers (bei 4° C.) gleich 1 ist, und dass

$$\text{Specif. Gew. eines Körpers} = \text{Dichte des Körpers} \times \text{specif. Gew. des Wassers.}$$

Zur Bestimmung der Dichte eines Körpers kann man ein in Kubikcentimeter getheiltes Reagens-Gläschen verwenden, welches von einem kleinen Stative z. B. einem Kork getragen wird. In dieses Gläschen wird irgend eine Menge von einer Flüssigkeit gegossen, welche den zu untersuchenden Körper nicht angreift, der Stand der Flüssigkeit abgelesen und das Gewicht des Apparates in Grammen bestimmt. Der Körper, dessen Dichte bestimmt werden soll, wird im grob gepulverten Zustande vorsichtig hineingegeben, der neue Flüssigkeitsstand abgelesen und das Gewicht des Apparates wieder ermittelt. Zieht man von diesem Gewicht das früher gefundene ab, so erhält man das Gewicht des Körpers in Grammen. Dieses Gewicht wird durch das Volumen, um welches die Flüssigkeit gestiegen ist, dividirt; der Quotient gibt die verlangte Dichte, da 1 Kubikcentimeter Wasser 1 Gramm wiegt. Mit demselben Apparate lassen sich auch die Dichten der Flüssigkeiten bestimmen.

13. Luftdruck. Versuch a). Ein ziemlich grosser Glasballon werde mit Hilfe einer Luftpumpe möglichst luftleer gemacht, und abgewogen. Wird der Ballon wieder mit Luft gefüllt und sein Gewicht bestimmt, so zeigt sich dieses grösser als vorhin. Ebenso stellt sich eine, freilich andere Gewichtszunahme heraus, wenn der Ballon mit Leuchtgas gefüllt wird. Auf diese Weise fand man, dass ein Kubikfuss Luft etwa 564 Gran wiegt, dass also die Luft nahe 770mal leichter als das Wasser ist.

1. *Die luftförmigen Körper sind demnach schwer wie alle andern Körper.*

Die Luft umgibt unsere Erde in Form einer Hohlkugel, welche sich bis zu einer Höhe von vielleicht 8 Meilen erstreckt, und Atmosphäre (Dunstkreis) genannt wird. In Folge der Ausdehnbarkeit (§. 3) sucht zwar die Luft sich im Weltraume auszubreiten, sie wird jedoch durch die Schwerkraft daran gehindert. Ueber jedem Stücke der Erdoberfläche ist demnach eine Luftsäule gelagert, welche mit ihrem Gewichte auf die Unterlage drückt. Denken wir uns die Luftsäule in Schichten getheilt, so erkennen wir dass jede Schichte von der darüber befindlichen Luftmasse einen Druck erleidet, dass die darunter liegende Luft zusammengepresst und daher verdichtet wird.

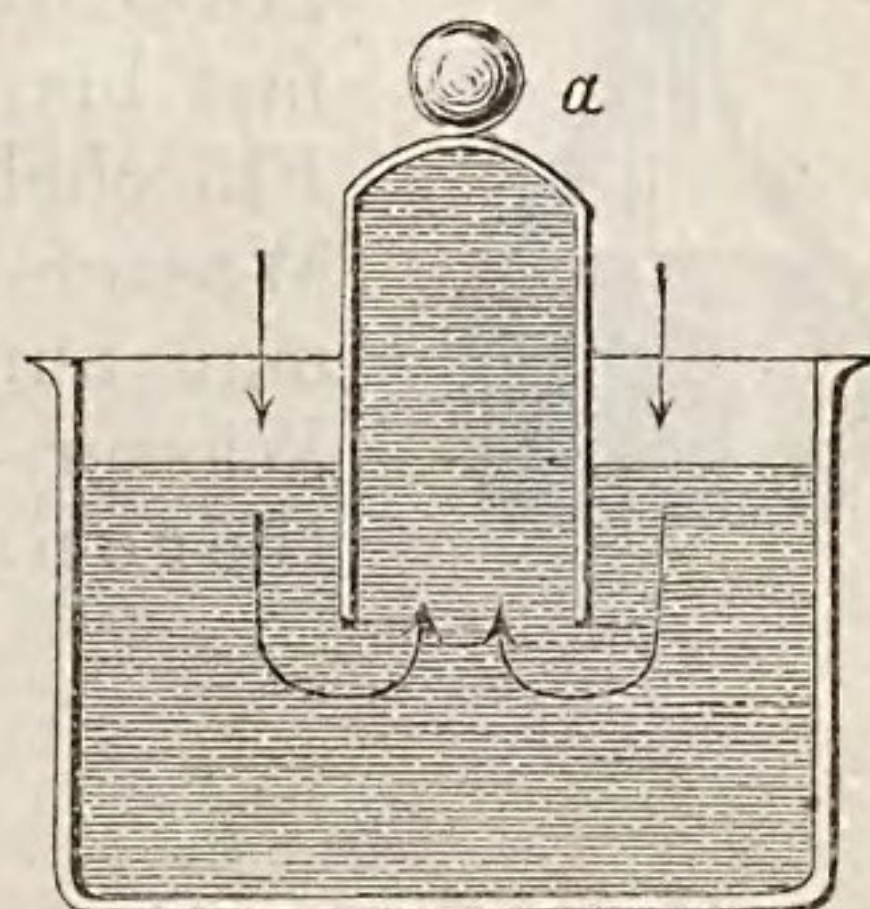
2. *Die Luft übt vermöge ihrer Schwere auf jede Fläche einen Druck aus, welcher dem Gewichte der über ihr befindlichen Luftsäule gleich ist, sich nach allen Richtungen gleich stark äussert und, wie wir später sehen werden, für einen Quadratzoll nahezu 12½ Pfund beträgt.* Einen solchen Druck nennt man eine Atmosphäre.

3. *Der Druck und auch die Dichte der Luft werden kleiner, wenn man sich über die Meeresfläche erhebt.* Der Luftdruck ist übrigens an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten verschieden.

Fülle ein Trinkglas ganz mit Wasser an, drücke mit der einen Hand ein Blatt Papier auf dessen Oeffnung, kehre das Glas mit der andern Hand um und

entferne die erstere; wegen des Luftdruckes fliesst kein Wasser heraus. — Fülle in einem Gefässe, welches Wasser enthält, ein Trinkglas, kehre dieses in jenem um, so dass der Boden nach oben zu liegen kommt und ziehe das Glas vertical heraus, so dass nur noch ein kleiner Theil im äusseren Wasser eingetaucht bleibt (Fig. 15). Das Glas bleibt gefüllt. Wende statt des Trinkglases eine Glasröhre an, deren eine Oeffnung vor dem Umkehren der Röhre mit dem Finger verschlossen werden möge. Was geschieht, wenn der Finger entfernt wird sobald die gefüllte Röhre zum grössten Theile aus dem Wasser gezogen ist? Was ist die Ursache hievon? — Das Spundloch eines Fasses muss geöffnet werden, wenn es beim Zapfen gehörig rinnen soll. — Wie viel beträgt der Druck von 2, 3, 4 Atmosphären? — Welchen Druck haben 2, 3, 4 Quadratzoll, welchen ein Quadratfuss von der Luft auszuhalten? — Wir verspüren an unserem Körper den Luftdruck nicht, weil er von allen Seiten wirkt, daher unsere Bewegungen nicht hemmen kann, und weil die im Innern des Körpers befindlichen Flüssigkeiten und Gase drückend entgegen wirken. — Im Zimmer ist der Luftdruck so gross wie im Freien, an demselben Orte müsste er gleich gross bleiben, wenn in der Luft keine Strömungen und keine andern Störungen eintreten würden.

Fig. 15.

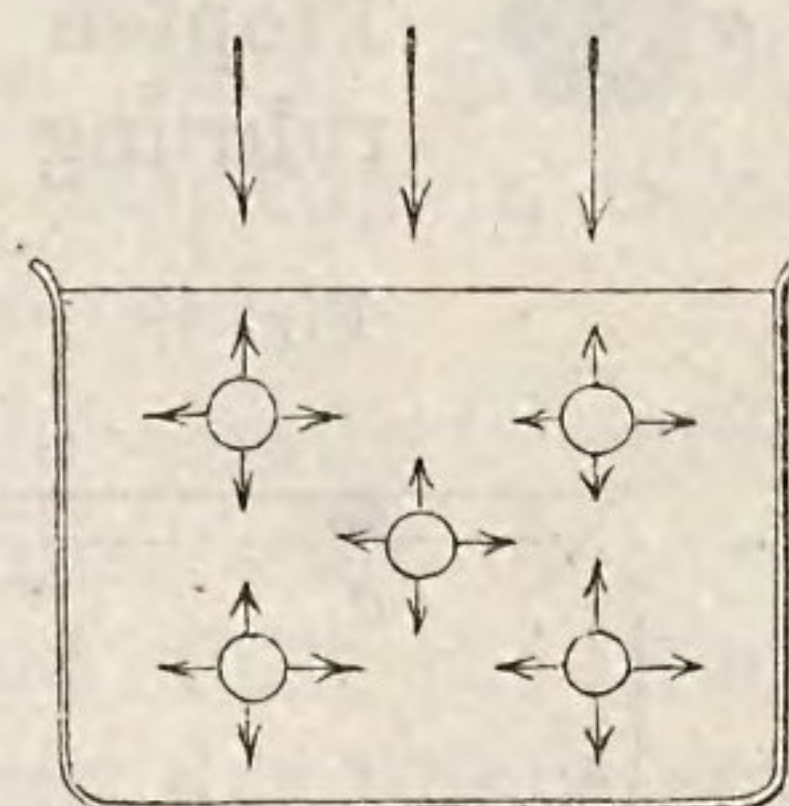


14. Die Spannkraft der luftförmigen Körper. Versuch a). Eine mit nur wenig Luft gefüllte Blase schwillt an und kann sogar zum Platzen gebracht werden, wenn sie unter eine Glocke gelegt und aus dieser die Luft ausgepumpt wird.

Versuch b). In einen Cylinder, welcher an einem Ende verschlossen ist, werde ein luftdicht anschliessender Stempel gedrückt; man verspürt einen desto grösseren Gegendruck, je tiefer man den Stempel hinein zu schieben versucht. Lässt man mit dem Drucke nach, so fährt der Stempel zurück. Hollunderbüchse, Blasrohr.

Die Ausdehnbarkeit der Gase äussert sich gegen Hindernisse als Druck. Dieser Druck der Gase heisst ihre Spannkraft oder ihre Expansivkraft. Dieselbe nimmt mit der Dichte der Gase, sowie mit dem auf sie ausgeübten Druck zu und ab. Die in einem Gefässe befindliche Luft (Fig. 16) wird daher auf die Gefässwände drücken. An einer offenen Stelle wirkt der Spannkraft der äussere Luftdruck entgegen. Soll daher Luft weder ausströmen noch in das Gefäss eindringen, so muss die Spannkraft der inneren Luft dem äusseren Luftdrucke gleich sein. [Vgl. Versuch b)]. Die Spannkraft einer mit der äusseren Luft in Berührung stehenden ruhigen Luftmasse ist daher dem an ihrer Stelle herrschenden Luftdrucke gleich. Die Spannkraft der Luft nimmt also ab, wenn man sich über die Meeresfläche erhebt. (Vgl. §. 13, 3.) Die Spannkraft der Gase wird nach Atmosphären gemessen.

Fig. 16.



Stelle eine beiderseits offene, nicht zu enge Glasröhre theilweise in Wasser; dieses steht in- und auswendig gleich hoch; die Luft drückt auf die innere und äussere Wasserfläche gleich stark. Blase in die Röhre mit dem Munde Luft hinein; die eingeschlossene Luft wird verdichtet, — das Wasser sinkt in der Röhre. — Ziehe mit dem Munde Luft aus der Röhre. — Trinken mit dem Strohhalm. — Stechheber. — Beschreibe die Handspritze und erkläre den Vorgang

bei ihrer Anwendung. — Ein Fingerhut haftet an den Lippen, wenn man aus ihm die Luft aussaugt. — Befestige in den Hals einer Flasche zwei Röhren (Fig. 17), wovon die eine *a* nahe bis an den Boden reicht, während die andere *b* schon unter dem Stöpsel endet. Füllt man die Flasche mit Wasser und bläst Luft in das kürzere Rohr, so spritzt bei *a* Wasser heraus. Eine solche Flasche heisst Spritzflasche. — In den Hals eines Fläschchens sei ein Röhrchen, welches fast bis auf den Boden reicht, luftdicht eingemacht. Wird das Fläschchen erhitzt, und dann die Oeffnung des Röhrchens in Wasser gesteckt, so füllt sich das Fläschchen mit Wasser. Bläst man nun durch die Röhre Luft in's Fläschchen, so spritzt das Wasser in einem Strahle empor. Diese Vorrichtung heisst Heronsball.

Fig. 17.

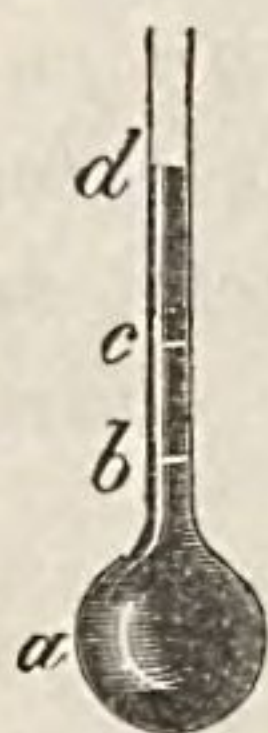


III. VON DER WÄRME.

15. Wärme. Temperatur. Mittheilung der Wärme. Versuch *a*). Eine Metallkugel, welche durch einen Ring durchfällt, werde über eine Flamme gehalten; die Kugel bleibt dann im Ringe hängen.

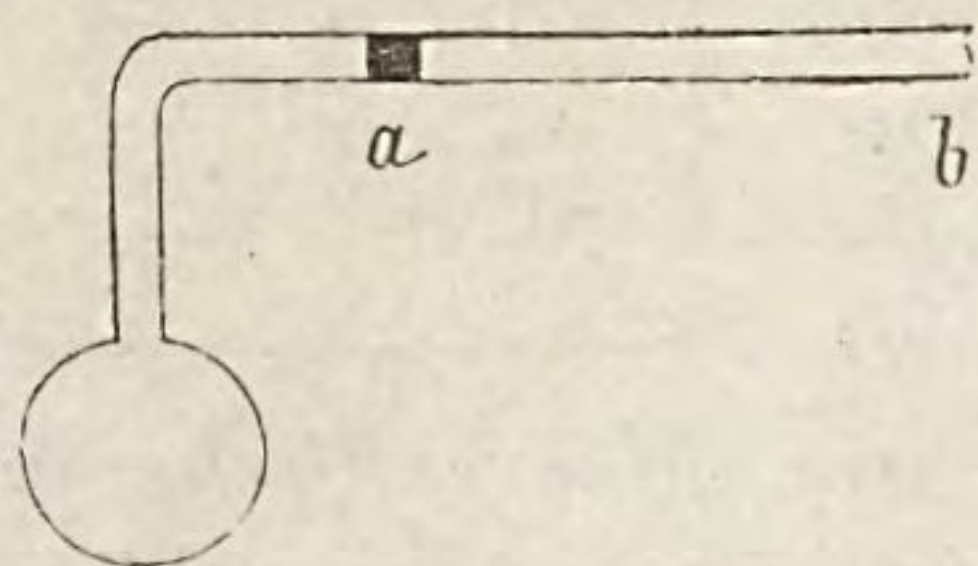
Versuch *b*). Ein mit einer Kugel *a* versehenes Glasrohr (Fig. 18) sei bis *c* mit einer Flüssigkeit gefüllt. Die Flüssigkeit steigt wenn die Kugel über die Flamme oder über ein erhitztes Blech gehalten wird; sie sinkt z. B. bis *b*, wenn die Vorrichtung in Eis gestellt wird.

Fig. 18.



Versuch *c*). Eine schlaff aufgeblähte, fest verbundene Blase schwillt auf dem warmen Ofen an; vom Ofen weggenommen, schrumpft sie wieder zusammen. Die in der Glas- kugel und dem Rohre (Fig. 19) befindliche Luft werde durch den Quecksilbertropfen *a* von der äusseren Luft abgesperrt. Nähert man der Kugel das erwärmte Eisenblech, oder berührt die Kugel mit der Hand, so bewegt sich *a* gegen *b* hin; der Tropfen geht zurück, wenn man die Kugel mit Eis in Berührung bringt.

Fig. 19.



Nähern wir die Hand der Flamme, berühren wir den Ofen, das erhitzte Blech, das Eis, so verspüren wir eigenthümliche Empfindungen, in Folge welcher wir das Blech, den Ofen, die Flamme warm, das Eis aber kalt heissen. Den eigenthümlichen Zustand der Körper, in Folge dessen sie in anderen Körpern Volumveränderungen und in uns das Gefühl der Wärme oder Kälte erzeugen, nennt man im allgemeinen *Wärmezustand*; die Ursache desselben wird *Wärme* genannt. Da die Körper in anderen nicht immer gleiche Volumveränderungen und in uns nicht immer gleich starke Wärmeempfindungen hervorrufen, so muss man in dem Wärmezustand der Körper Abstufungen unterscheiden (kalt, kühl, lau, warm, heiss). Den bestimmten Grad des

Wärmezustandes eines Körpers heisst man Temperatur. Erscheint uns der Körper *A* wärmer als *B*, so sagt man: *A* habe eine höhere Temperatur als *B*.

Versuch *d*). Legt man ein stark erhitztes Eisenstück in ein mit kaltem Wasser gefülltes Gefäss, rührt das Wasser gut um, so werden nach einiger Zeit Wasser und Eisen gleich warm erscheinen.

Werden zwei Körper von ungleicher Temperatur mit einander in Berührung gebracht, so gibt der wärmere an den kälteren so lange Wärme ab, bis beide gleiche Temperatur haben. Dieser bei der Temperaturengleichung zweier sich berührender Körper stattfindende Vorgang wird Mittheilung der Wärme genannt. Die Erwärmung oder Temperaturerhöhung eines Körpers kann daher als die Folge von Wärmeaufnahme, die Abkühlung oder Temperaturerniedrigung als die Folge von Wärmeabgabe angesehen werden; jene ist (nach *a*, *b*, *c*) mit einer Volumvergrösserung, diese mit einer Volumverminderung des betreffenden Körpers verbunden. Wenn zwei Körper nicht Temperatur und daher auch nicht Volum verändernd aufeinander einwirken, so müssen sie gleiche Temperatur haben.

Das Gesagte gilt auch von unserem eigenen Körper. Von zwei Körpern (Eis, laues Wasser) wird uns derjenige mehr Wärme entziehen, daher uns kälter erscheinen, welcher im Verhältniss zu unserem Körper die niedrigere Temperatur besitzt. Kalt und warm sind also nur vergleichsweise Bezeichnungen für verschiedene Wärmezustände und das Wort Kälte bezeichnet nur einen niedrigen Grad nicht aber ein gänzlich Abseyn der Wärme.

16. Wärmeleitung. Versuch *a*). Ein nicht zu langer Metalldraht werde mit einem Ende in die Flamme gehalten. Berührt man den Draht nahe an der Flamme, so wird man den Finger bald an eine entferntere Stelle rücken und nach einiger Zeit wird sogar das zweite Ende für den Finger zu heiss geworden sein. Die Flamme hat dem sie berührenden Theil des Drahtes Wärme mitgetheilt, von diesem Theil hat sich die Wärme allmählig von Schichte zu Schichte durch den ganzen Draht verbreitet.

Versuch *b*). Ein brennender Holzspann kann nahe an der Flamme gehalten werden, nicht aber ein an einem Ende glühender blanker Eisendraht. Umwickle letzteren theilweise mit Papier, Wolle, Stroh oder Seide, und mache den anderen Theil glühend.

Versuch *c*). In eine an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre gibt man ein Stückchen Eis, auf dieses ein Stück Blei oder dgl., von welchem das Eis am Boden niedergehalten wird, und füllt die Röhre mit Wasser. Man kann das Wasser am oberen Theile der Röhre stark erhitzen, ohne dass das Eis schmilzt.

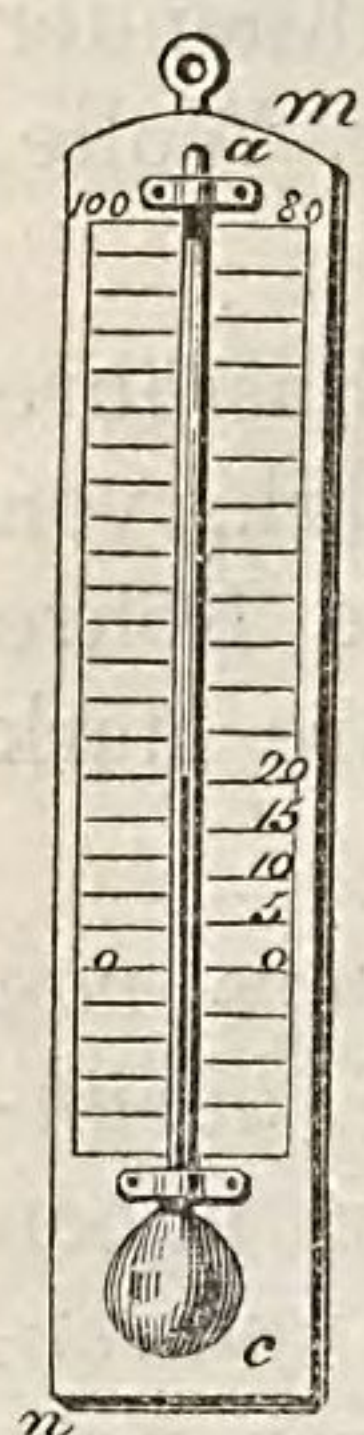
Das Fortschreiten der Wärme im Innern eines Körpers von Schichte zu Schichte, oder von einem Körper zu einem ihn berührenden, heisst Wärmeleitung. Materiell verschiedene Körper haben auch ein verschiedenes Wärmeleitungsvermögen; man unterscheidet demnach gute und schlechte Wärmeleiter. Die ersteren nehmen die Wärme rasch auf, verbreiten sie schnell im Innern durch die ganze Masse, geben sie aber auch wieder leicht an die Umgebung ab,

während die letzteren sich gerade entgegengesetzt verhalten. — Gute Wärmeleiter sind vorzugsweise die Metalle, jedoch nicht alle in demselben Grade; so leitet Silber die Wärme besser als Kupfer, dieses besser als Eisen und Zink. Zu den schlechten Leitern gehören: Haare, Pelzwerk, Wolle, Seide, Stroh, Heu, Holz, Papier, Glas, Eis, Schnee, Kohle, Asche, die Erden. Die tropfbaren und ausdehnnsamen Flüssigkeiten sind sehr schlechte Wärmeleiter, insbesondere wenn sie von oben nach unten erwärmt werden.

Gute Wärmeleiter werden benützt, wenn es darauf ankommt, die Wärme schnell zu verbreiten; so z. B. metallene Kochgefässe, eiserne Oefen. — Schlechte Wärmeleiter dienen a) zur Hintanhaltung der allzu raschen Abkühlung. So trägt man im Winter Pelze und dicke Wollkleider, belegt Steinböden mit Brettern oder Teppichen, umhüllt Bäume und Brunnen mit Stroh. Thonöfen halten die Wärme besser als eiserne, ingleichen schützen Strohdächer besser als Metall- oder Ziegeldächer. Vor Abkühlung schützen besonders gut die abgesperrten Luftmassen; daher werden im Winter Doppelfenster und Doppelthüren angewendet. Aehnlich wirkt die in stark porösen Körpern, z. B. in Pelzwerk, Flaumfedern, Schnee u. dgl. enthaltene Luft. Eine Schneedecke schützt die Pflanzen vor der starken Winterkälte; Erfrorene werden in Schnee eingehüllt, damit sie sich wieder langsam erwärmen. — b) zur Hintanhaltung einer zu starken Erwärmung. Zangen, Feuerhaken u. dgl. werden mit hölzernen Handgriffen versehen; zwischen die Doppelwände feuerfester Schränke wird Asche u. dgl. gegeben. Damit ein auf dem heissen Ofen gestelltes Glas nicht zerspringe legt man Papier unter. — Ein Stück Eisen und Holz auf Eis gelegt, erhalten beide dieselbe Temperatur (Vergl. §. 15) und doch fühlt sich das Eisen kälter an als das Holz, weil jenes als guter Wärmeleiter der Hand in derselben Zeit mehr Wärme entzieht, als das Holz. Gute und schlechte Wärmeleiter erregen bei gleicher Temperatur in uns verschiedene Wärmeempfindungen.

17. Thermometer. Wir wissen (vergl. §. 15) dass das Volumen der Körper bei einer Temperaturerhöhung sich vergrössert, bei einer Temperaturerniedrigung aber verkleinert. Ferner hat die Erfahrung gelehrt, dass jeder Körper bei ein und derselben Temperatur immer dasselbe Volumen besitzt. Demgemäss kann man aus dem Volumen eines Körpers auf seine Temperatur, aus seiner Volumänderung auf die Veränderung seiner Temperatur zurückschliessen. Man hat daher

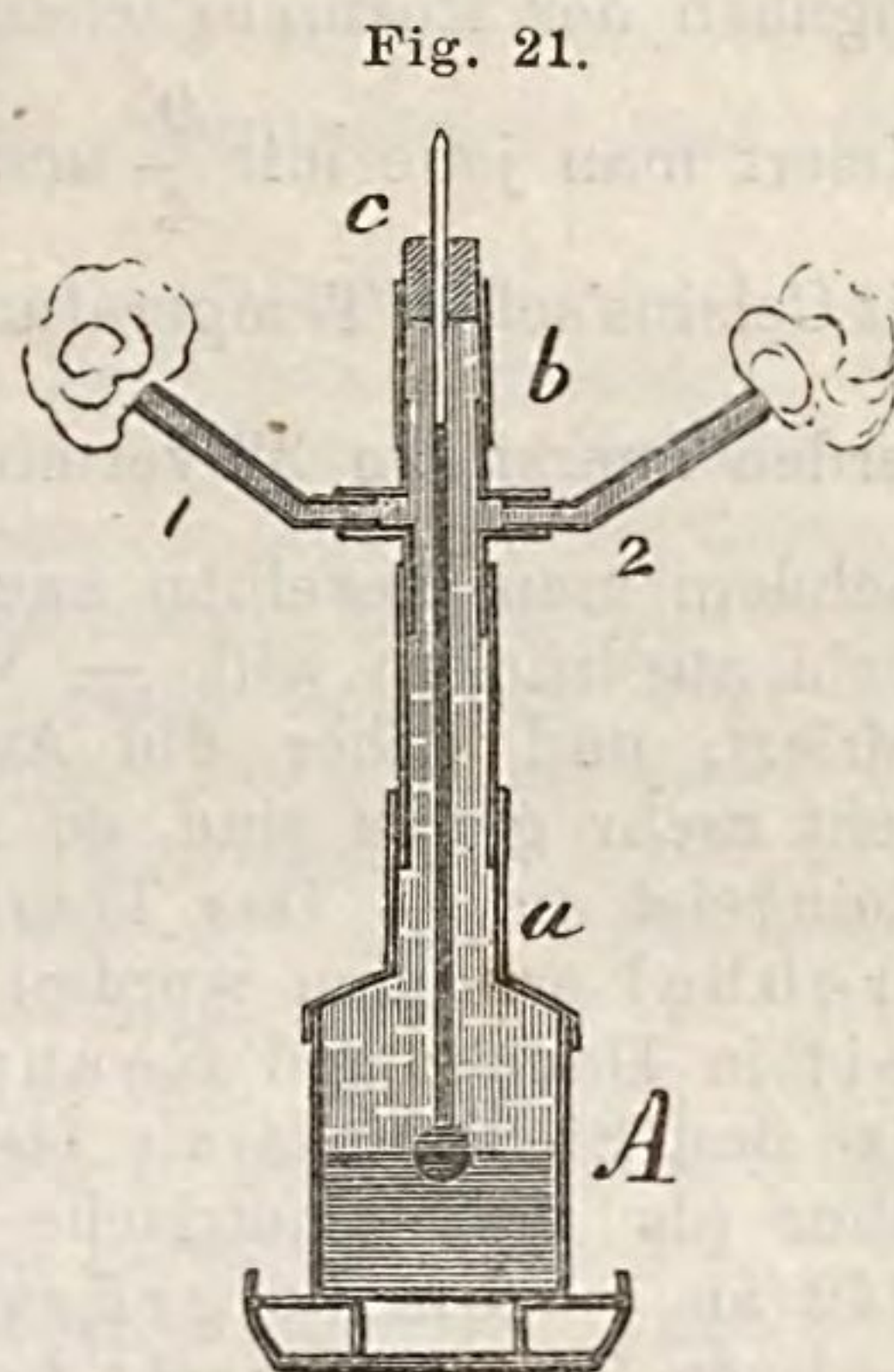
Fig. 20.



eigene *Instrumente* construiert, welche zum Messen der Temperatur dienen, sie heissen *Thermometer*. Der dabei benützte Körper, nach dessen Volumen die Temperatur beurtheilt wird, heisst *thermometrische Substanz*. Als solche benützt man Weingeist, Luft, am gewöhnlichsten reines Quecksilber.

Das *Quecksilber-Thermometer* besteht: a) aus einer sehr engen, durchaus gleich weiten (gut calibrierten) Glasröhre, an welche eine hohle Kugel c (Fig. 20) oder auch ein cylindrisches Gefäss angeblasen ist; die Kugel und ein Theil der Röhre sind mit reinem trockenen Quecksilber gefüllt. Damit dieses sich in der Röhre leicht ausdehnen könne, wird die Luft durch Erwärmen des Quecksilbers ausgetrieben und die Röhre bei a zugeschmolzen. b) Aus der Scala, d. i. einem Maassstab, an welchem die Längenänderung der in der Thermometerrohre befindlichen Quecksilbersäule und dadurch ihre Temperatur abgelesen werden kann. Das Glas dehnt sich unmerklich

aus, folglich kann sich nur die Länge der Quecksilbersäule ändern. Um die Maasseinheit zu erhalten, braucht man nur zu wissen, wo in der Röhre das Quecksilber bei einer gewissen Temperatur steht und bis wohin es steigt, wenn es bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt wird. Man stellt daher das Thermometer zuerst in schmelzendes Eis und merkt den Punkt, wo das Quecksilber stehen bleibt, an der Röhre an. Dieser Punkt heisst *Eis-* oder *Gefrierpunkt*, welcher die *Temperatur des schmelzenden Eises anzeigt*. Sodann gibt man das Thermometer in ein Metallgefäß (Fig. 21), so dass die Kugel die Oberfläche des im Gefässe befindlichen Wassers eben berührt; wird das Wasser zum Sieden gebracht, so steigt das Quecksilber bis zu einem Punkte, welcher *Siedepunkt* genannt wird, weil er die *Temperatur des siedenden Wassers angibt*. Der *Abstand des Eis- und Siedepunktes heisst Fundamentalabstand*. Derselbe wird in 80, oder 100 oder 180 gleiche Theile oder Grade ($^{\circ}$) eingetheilt, je nachdem man die Scala nach Reaumur oder Celsius oder Fahrenheit anfertigen will. Bei der Scala nach Reaumur und Celsius werden die Grade vom Eispunkte gezählt; daher wird dieser mit 0 bezeichnet und desshalb auch Nullpunkt genannt. Am Siedepunkt steht bei der ersteren Scala 80, bei der zweiten, d. i. der hunderttheiligen die Zahl 100. Bei der Fahrenheit'schen Scala trägt der Eispunkt die Zahl 32; am Siedepunkte steht $32 + 180 = 212$. Die Grade oberhalb des Nullpunktes heissen Wärmegrade, die unterhalb desselben aber Kältegrade; jene werden in der Schrift durch das Zeichen $+$, diese durch $-$ gekennzeichnet. Diese Zeichen werden der Gradzahl vorgesetzt; durch ein nachfolgendes *R*, *C*, *F* wird die Art der Scala angedeutet.



Um zu sehen ob die Thermometerröhre gut kalibriert ist, bringt man ein wenig Quecksilber in dieselbe und untersucht, ob dieses Quecksilbersäulchen stets dieselbe Länge behält, wenn man es die ganze Röhre entlang gleiten lässt. — Je enger die Thermometerröhre ist, desto länger wird ein Grad, desto geringere Temperaturunterschiede wird man ermitteln können, desto empfindlicher wird also das Thermometer. — Bei der Bestimmung der Temperatur eines Körpers bringt man die Thermometerkugel mit ihm in Berührung oder taucht sie ein, wenn der Körper flüssig ist, und wartet bis das Quecksilber an einem Punkte stehen bleibt; die an diesem Scalenpunkte stehende Zahl gibt die Temperatur an. Um die Temperaturangabe einer Scala in Grade einer anderen Scala umzusetzen hat man zu beachten dass.

$$80^{\circ} R = 100^{\circ} C = 180^{\circ} F \text{ sind;}$$

folglich ist

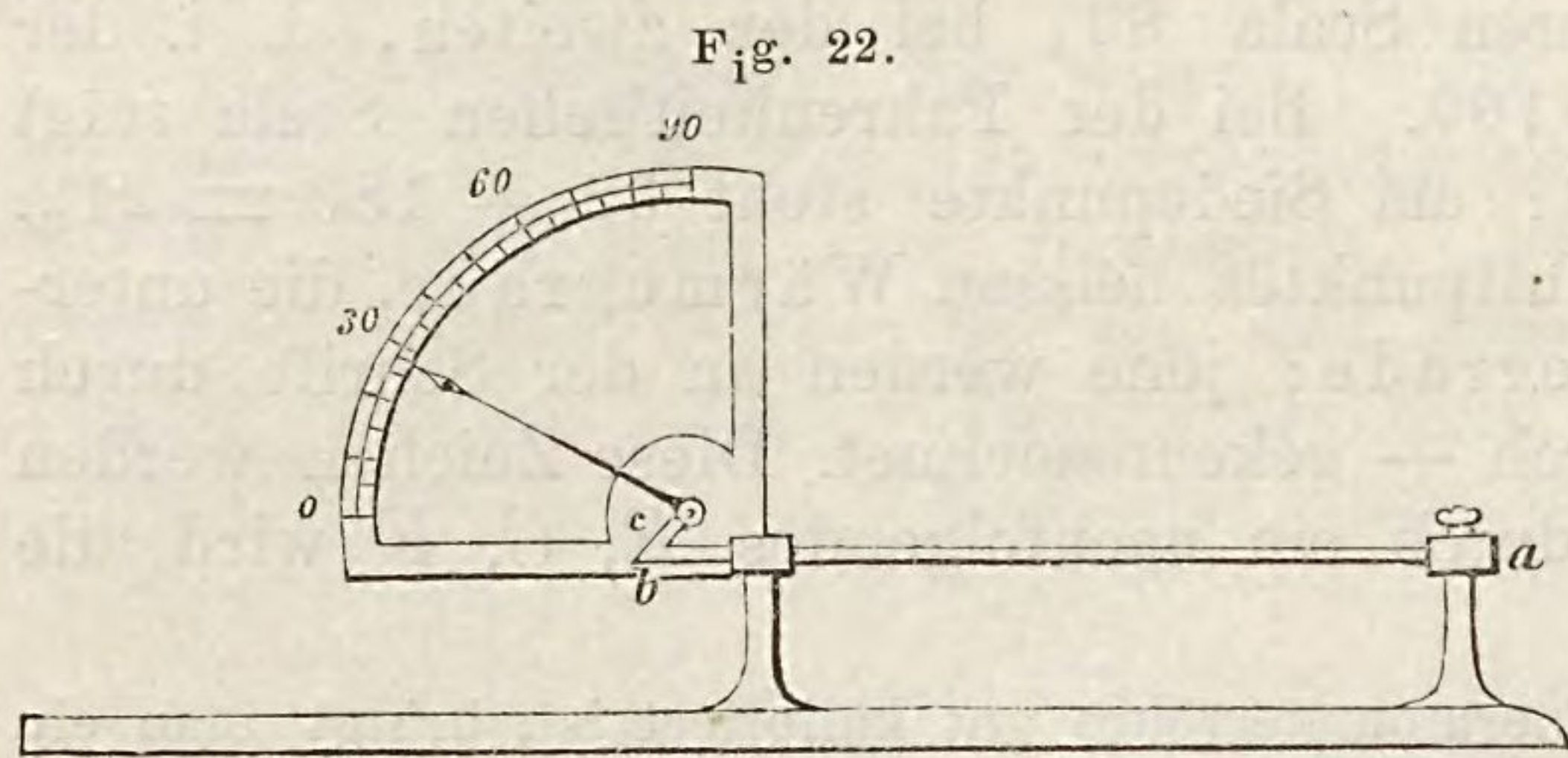
$$1^{\circ} R = \frac{5^{\circ}}{4} C = \frac{9^{\circ}}{4} F,$$

$$1^{\circ} C = \frac{4^{\circ}}{5} R = \frac{9^{\circ}}{5} F,$$

$$1^{\circ} F = \frac{4^{\circ}}{9} R = \frac{5^{\circ}}{9} C.$$

16° R sind also $16 \times \frac{5^{\circ}}{4} \text{ C} = 20^{\circ} \text{ C}$; $25^{\circ} \text{ C} = 25 \times \frac{4^{\circ}}{5} \text{ R} = 20^{\circ} \text{ C}$. — $16^{\circ} \text{ R} = 16 \times \frac{9^{\circ}}{4} \text{ F} = 36^{\circ} \text{ F}$. Um aber diese Temperatur nach der Fahrenheit'schen Scala anzugeben, muss beachtet werden, dass an derselben der Eispunkt die Zahl 32 trägt; wenn also das Thermometer mit Reaumur'scher Scala $+ 16^{\circ} \text{ R}$ anzeigt, weist es an der Fahrenheit'schen Scala auf $32 + 36 = 68^{\circ} \text{ F}$. Will man also Angaben der Reaumur'schen Scala in solche nach Fahrenheit umsetzen, so multipliciert man jene mit $\frac{9}{4}$ und addiert zu dem Producte 32. Aehnlich verfährt man mit Celsius'schen Temperaturangaben. Die Angaben nach der Fahrenheit'schen Scala werden zuerst um 32 vermindert, der Unterschied mit $\frac{4}{9}$ oder $\frac{5}{9}$ multipliciert, je nachdem man dieselben nach der Reaumur'schen oder nach der hunderttheiligen Scala ausdrücken will. — Weil das Quecksilber zwischen $- 31^{\circ}$ und $- 32^{\circ} \text{ R}$ gefriert, und daher die Angaben des Quecksilberthermometers unter $- 30^{\circ} \text{ R}$ nicht mehr genau sind, so wendet man für so niedrige Temperaturen gefärbten Weingeist an. — Das Thermometer soll um 1605 von dem Holländer Cornelius Drebbel erfunden worden sein; er verwendete Luft statt Quecksilber. Fahrenheit in Danzig und Reaumur in Frankreich führten im 18. Jahrhunderte den Eis- und Siedepunkt als feste Punkte der Scala und der erstere auch das Quecksilber als thermometrische Substanz ein. Celsius in Upsala gab seine Scala 1742 an. — Um die grösste und kleinste Temperatur, welche innerhalb einer gewissen Zeit geherrscht hat, zu ermitteln, wendet man das Maximum- und Minimum-Thermometer an.

18. Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Versuch. Ein Metallstab ab (Fig. 22) sei in a so befestigt, dass er sich nach dieser



Seite hin äusserst wenig ausdehnen kann; das Ende b berühre den kürzern Arm eines um c drehbaren Hebels, dessen anderer Arm mit einem Zeiger verbunden ist, welcher über einem getheilten Kreisbogen spielt. Wird der Stab erwärmt

so dehnt er sich gegen b hin aus und bewegt den Zeiger vorwärts; dieser geht wieder in die alte Lage zurück wenn der Stab abkühlt. Vergl. die Versuche $a)$, $b)$, $c)$ in §. 15.

Durch ähnliche Versuche und genaue Messungen hat man gefunden:

1. Die Körper dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen zusammen, und zwar, mit Ausnahme gewisser Krystalle, nach allen Seiten gleich stark.

2. Materiell verschiedene Körper dehnen sich bei gleicher Temperaturerhöhung ungleich stark aus, und ziehen sich bei derselben Temperaturerniedering ungleich stark zusammen.

3. Die meisten festen Körper, insbesondere die Metalle, dehnen sich zwischen dem Eis- und Siedepunkt regelmässig, d. i. 2, 3, 4 mal stärker aus, wenn ihre Temperatur 2, 3, 4 mal stärker erhöht wird, und ziehen sich regelmässig zusammen.

4. *Die Flüssigkeiten, namentlich die luftförmigen dehnen sich bei gleicher Erwärmung viel stärker aus als die festen Körper.* Während aber verschiedene Gase bei derselben Temperaturerhöhung sich fast gleich stark und ganz regelmässig ausdehnen, vergrössert sich das Volumen verschiedener tropfbarer Flüssigkeiten sehr verschieden und bei den meisten sogar zwischen 0° und 100° C. unregelmässig. — Da in Folge der Erwärmung die Körpertheilchen sich von einander zu entfernen, in Folge der Abkühlung aber sich einander zu nähern suchen; so folgt, dass *bei Gasen die Spannkraft mit der Temperatur zu- und abnimmt.*

Die eisernen Reifen werden glühend auf den Radkranz aufgezogen und mit kalten Nägeln festgenagelt. Erkaltende Eisenstangen wurden zum Zusammenziehen auseinander gewichener Mauern benützt; eingemauerte Metallkessel, Stangen und Platten müssen einen Spielraum haben; Eisenbahnschienen dürfen nicht knapp an einander stossen. — Ein Zink- und Eisenstab zusammengenietet sind nur gerade bei der Temperatur, bei welcher sie angefertigt wurden; bei einer Erwärmung krümmt sich der Stab, so dass das Zink an der erhabenen (convexen) Seite sich befindet. Der Stab krümmt sich entgegengesetzt bei einer Abkühlung. (Metallthermometer.) Thon, Holz schwinden beim Erwärmen, weil das in ihnen enthaltene Wasser entweicht. — Das Quecksilber dehnt sich bis 100° C. gleichförmig aus, eignet sich daher als thermometrische Substanz. Der Weingeist befolgt oberhalb des Eispunktes das Gesetz 2) nicht; desshalb muss die Scala des Weingeistthermometers nach den Angaben des Quecksilberthermometers angefertigt werden. Kauft man Flüssigkeiten nach dem Volumen und nicht nach dem Gewichte, so erleidet man in Folge ihrer Ausdehnung durch die Wärme häufig Verluste.

— Ist ein Quecksilbersäulchen bei 0° R $1''$ lang, so misst es $1 + \frac{2}{111}$ Zoll bei 80° R. oder bei 100° C.; folglich kommt nach 2) auf 1° R eine Längenänderung von $\frac{2}{111 \times 80} = \frac{1}{4440}$ Zoll und auf 1° C. eine Längenänderung von $\frac{1}{5550}$ Zoll.

Die Zahl, welche angibt, um wie viel die Längeneinheit eines Körpers bei einer Temperaturerhöhung von 1° sich ausdehnt, heisst *Ausdehnungscoefficient*.

— Die Grösse der Ausdehnung einer Luftmasse beträgt bei einer Temperaturerhöhung von 1° C $\frac{1}{273}$ des ursprünglichen Volumens.

19. Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit. Porosität. Die Möglichkeit das Volumen eines Körpers zu vergrössern ohne dass dabei seine Masse geändert wird, heisst *Ausdehnbarkeit*; dieser ist die *Zusammendrückbarkeit* entgegengesetzt. Nach dem, was wir über die Volum verändernden Wirkungen der Wärme kennen gelernt haben, müssen wir schliessen, dass *Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit* allen Körpern zukommende, d. h. *allgemeine Eigenschaften* sind. Die Körper lassen sich übrigens auch auf mechanischem Wege ausdehnen (Drahtziehen, Walzen) und zusammendrücken (Prägen).

Wegen der Undurchdringlichkeit der Materie wäre die Zusammenziehung der Körper bei einer Abkühlung nicht möglich, wenn die mechanisch untheilbaren Körpertheilchen, die Atome einander unmittelbar berühren möchten. Man muss daher aus der Zusammendrückbarkeit der Körper den Schluss ziehen, dass *die Atome eines Körpers durch Zwischenräume, die nicht mit der Materie des Körpers ausgefüllt sind, von einander getrennt sind, und durch anzie-*

hende Kräfte zu einem Ganzen zusammengehalten werden. Nennt man jene Zwischenräume Poren, so folgt der Satz: *Alle Körper sind porös*, oder die Porosität ist eine allgemeine Eigenschaft. — Je weiter die Körpertheilchen von einander entfernt sind, desto weniger Masse wird im Volumen eines Körpers enthalten, desto weniger dicht wird der Körper sein. Beim Ausdehnen, also *beim Erwärmen nimmt daher die Dichte der Körper ab*, *beim Zusammendrücken* also auch beim *Abkühlen*, nimmt die Dichte zu. Bei Dichtigkeitsbestimmungen muss daher auf die Temperatur Rücksicht genommen werden.

Die Metalle sind sehr dehnbar. Beispiele von sehr porösen Körpern sind Badeschwamm, Bimstein u. s. w. Durch Holz lassen sich Flüssigkeiten z. B. Quecksilber durchpressen (Quecksilberpresse), wobei die Flüssigkeiten von Unreinigkeiten z. B. Staub befreit werden. Poröse Körper, Filz, Leinwand, ungeleimtes Papier, Kohle werden daher zum Filtrieren benutzt.

20. Strömungen, welche in Flüssigkeiten durch Erwärmung oder Abkühlung erzeugt werden. Versuch a). Gibt man in Wasser, welches in einem Glasgefässe von unten aus erwärmt wird, Sägespäne oder Bernsteinpulver, so nimmt man eine Strömung wahr, welche von unten nach aufwärts, und eine andere, welche von oben nach unten gerichtet ist. — Die am Boden befindlichen Wassertheilchen werden zunächst erwärmt, dehnen sich aus und werden specifisch leichter; sie steigen daher, wie z. B. der Kork im Wasser empor, wobei sie an die kältere Umgebung Wärme abgeben. Die oberen kälteren Wassertheilchen sind dichter, sinken daher, wie z. B. ein Stein, im Wasser und erheben sich wieder, sobald sie am Boden erwärmt worden sind.

Versuch b). Ein dünnes Papierblättchen, über eine Flamme oder über den erhitzten Ofen gehalten, zeigt eine nach aufwärts gerichtete Luftströmung an. Tanzende Schlange u. dgl.

1. *In tropfbaren und ausdehnsamen Flüssigkeiten werden durch Erwärmung zwei Strömungen erzeugt, indem die warmen Theilchen nach aufwärts, die kalten nach abwärts strömen, bis endlich in der ganzen Flüssigkeitsmasse gleiche Temperatur herrscht.* Aehnliche Strömungen müssen auch eintreten, wenn eine Flüssigkeit von oben aus abgekühlt wird.

Versuch c). Hält man an einem Wintertage eine Flamme in die Oeffnung der Zimmerthür einmal oben, das andere Mal unten; so erkennt man an der Richtung der Flamme eine obere nach auswärts gerichtete Strömung von warmer, und eine untere einwärts gerichtete Strömung von kalter Luft.

2. *Grenzen zwei Luftmassen von verschiedener Temperatur an einander, so strömt in der Höhe Luft aus dem warmen Raume in den kalten, und unten in der entgegengesetzten Richtung.* Aehnliches gilt auch bei Flüssigkeiten.

Es erklärt sich nun, warum Flüssigkeiten von unten her die Wärme besser fortleiten als von oben nach abwärts (vgl. 16). Die Luft ist im geheizten Zimmer an der Decke wärmer als am Boden. Durch den Schornstein strömt die warme mit Rauch gemengte Luft empor, die kalte Luft strömt der Feuerstelle unten zu; der Zug ist um so besser, je höher der Schornstein, und je grösser

der Temperaturunterschied der innern und äussern Luft ist. — Um die Zimmerluft schneller gleichmässig zu erwärmen wird der Ofen mit einem Mantel umgeben, der unten mit Oeffnungen versehen ist, durch welche die kalte Luft in den Raum zwischen Mantel und Ofen strömt, sobald die erwärmte Luft emporgestiegen ist. Meissner's Heizung. — Heizung mit erwärmtem Wassers. — Weil das Wasser des Nachts nicht so schnell abkühlt wie das Festland, so ist die über dem Meere befindliche Luft wärmer als die über dem Festlande. Es entsteht (nach 2) eine kalte Luftströmung vom Land gegen das Meer d. i. ein Landwind, welcher mit dem Vorrücken der Nacht heftiger wird. Des Morgens wird das Wasser nicht so rasch erwärmt wie das Festland, daher wird ein Seewind die Folge sein. Den kalten Strömungen entsprechen warme Winde, welche in der Höhe jenen entgegengesetzt wehen. In der heissen Zone steigen von dem stark erhitzten Boden beständig warme Luftströme empor, welche oben gegen die kälteren Polar-gegenden abfliessen und diesen Wärme zuführen. Von den Polen strömt unten kalte Luft gegen den Aequator. Auf der nördlichen Halbkugel weht daher unten ein kalter Polarstrom von Norden nach Süden, in den oberen Luftregionen aber ein warmer Aequatorialstrom von Süden nach Norden. Auf der südlichen Halbkugel erscheint der Polarstrom als Süd-, der Aequatorialstrom als Nordwind. Die Richtungen dieser sogenannten Passatwinde werden jedoch durch die tägliche Umdrehung der Erde und durch manche andere Umstände verschieden abgeändert. Aehnliche Strömungen finden auch in den Meeren statt. Golfstrom.

21. Die Dichtigkeit des Wassers. Wird Wasser abgekühlt, so zieht es sich zusammen, bis seine Temperatur auf 4° C. gesunken ist; bei weiterer Abkühlung dehnt es sich, den in §. 18 gefundenen Gesetzen entgegen, aus, so zwar, dass es bei 0° nahe denselben Raum, also auch die nämliche Dichtigkeit hat wie bei 8° C. Ist das Wasser in Eis verwandelt, so zieht es sich bei weiterer Erniedering seiner Temperatur wie andere Körper zusammen. Bei einer Erwärmung von 0° bis 4° C. wird das Volumen des Wassers kleiner, steigt die Temperatur über 4° C., so dehnt es sich wieder normalmässig aus. *Das Wasser hat daher bei 4° C. seine grösste Dichte*, welche als Dichtigkeitseinheit angenommen wird.

Eine mit Wasser gefüllte und verpfropfte Flasche zerspringt, wenn das Wasser gefriert. Das in Felsritzen befindliche Wasser kann beim Gefrieren den Felsen sprengen; Lehm Boden und Ackerschollen werden durch das gefrierende Wasser gelockert. — Das Wasser eines Teiches oder Sees kühlt im Winter zuerst an der Oberfläche ab; es findet eine doppelte Strömung statt (vgl. §. 20, 1), welche so lange anhält bis die Wassermasse auf 4° C. abgekühlt ist. Die Theilchen an der Oberfläche dehnen sich nun bei weiterer Abkühlung aus, werden leichter als das untere Wasser, bleiben desshalb oben schwimmen und bilden beim Gefrieren eine Eisdecke, welche allmähig dicker wird und wegen ihres schlechten Wärmeleitungsvermögens das untere Wasser vor dem Gefrieren schützt. Aus diesem Umstand erklärt es sich, warum ruhige tiefe Gewässer nicht bis auf den Grund gefrieren; beim Gegentheile würden die darin lebenden Thiere vernichtet werden. In fliessenden Gewässern werden die verschiedenen Wasserschichten in Folge der Bewegung untereinander gemischt, so dass das Wasser auch am Boden bis zum Gefrieren abgekühlt werden kann. Grundeis.

22. Schmelzen. Gebundene und freie Wärme. Versuch a). Ein Thermometer in gestossenes Eis gestellt, zeigt bald auf 0° ; das Quecksilber bleibt beim Nullpunkte stehen, wenn auch das Eis erwärmt wird. Erst wenn alles Eis flüssig geworden, steigt das Thermometer.

1. *Durch Erwärmen werden feste Körper tropfbarflüssig. Der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand wird Schmelzen,*

die Temperatur, bei welcher ein Körper schmilzt, wird Schmelzpunkt genannt. Jeder Körper hat einen bestimmten, verschiedene Körper haben jedoch einen verschiedenen Schmelzpunkt.

Nach dem Schmelzpunkte unterscheidet man leicht- und schwerflüssige Körper. — Der Schmelzpunkt ist nach der hunderttheiligen Scala für: Quecksilber — 39° , Terpentinöl — 10° , Eis 0° , weisses Wachs 68° , Schwefel 109° , Zinn 230° , Wismuth 256° , Blei 334° , Silber 1000° , Gold 1250° , gehämmertes englisches Eisen 1600° . Legierungen schmelzen regelmässig bei niedrigerer Temperatur als die Bestandtheile; so schmilzt eine Legierung von 4 Th. Wismuth, 1 Th. Blei und 1 Th. Zinn schon bei 94° , eine Legierung von 4 Th. Wismuth, 6 Th. Blei und 4 Th. Zinn bei 132° . Solche leichtflüssige Legierungen werden von Klempnern als Schnellloth benützt.

Die dem schmelzenden Körper zugeführte Wärme verrichtet, indem sie den Aggregationszustand ändert, also die Körpertheilchen anders lagert, im Innern des Körpers eine Arbeit; sie kann desshalb weder die Temperatur des Körpers erhöhen, noch gegen aussen hin auf unser Gefühl oder auf das Thermometer einwirken. Die im Innern eines Körpers thätige, nach aussen auf das Thermometer nicht einwirkende Wärme wird *gebundene* oder *latente Wärme* genannt, im Gegensatze zur *freien Wärme*, welche nach aussen durch eine Temperaturerhöhung sich kenntlich macht. Wir haben also den Satz:

2. Beim Schmelzen eines Körpers wird Wärme gebunden. Man nennt die zum Flüssigwerden eines Körpers nothwendige Wärmemenge die *Flüssigkeitswärme*.

Versuch b). In reines Wasser werde fein gepulverter Salpeter gegeben, und das Wasser rasch umgerührt. Der Salpeter löst sich auf; dabei sinkt die Temperatur, wie man an einem hineingestellten Thermometer erkennt. Der Salpeter entzieht, indem er sich auflöst, dem Wasser Wärme, welche er bindet.

3. Es wird auch Wärme gebunden, wenn ein fester Körper in einer Flüssigkeit sich auflöst.

Hierauf beruhen die sogenannten Kältemischungen. Mengt man etwa 3 Theile gestossenes Eis, oder besser Schnee mit 1 Th. Kochsalz und arbeitet dieses Gemenge rasch durch, so erhält dasselbe selbst im Sommer eine Temperatur von -10° bis -12° , welche bis -16° C. sinkt, wenn das Kochsalz vorher in Eis abgekühlt worden und das Gefäss, in welchem die Mengung vorgenommen wird, mit Eis umgeben wird. Eine gute Mischung geben auch 5 Th. Salpeter, 5 Th. Salmiak und 10 Th. Wasser von 10° C; sie gibt -12° C.

Versuch c). Ein Thermometer sei in einer zugeschmolzenen Glasröhre eingeschlossen, in welcher sich etwas Wasser befindet, durch dessen Erhitzung die in der Röhre befindliche Luft ausgetrieben worden ist (Fig. 23). Senkt man die Röhre in eine Kältemischung von etwa -8° C. ein und lässt sie ruhig stehen, so erkaltet das Wasser ohne zu gefrieren bis unter 0° ; die geringste Erschütterung macht es Erstarren, wo dann das Thermometer auf 0° steigt.

4. Das Erstarren eines flüssigen Körpers erfolgt bei einer Temperatur, welche mit dem Schmelzpunkte zusammenfällt; dabei

wird die Wärmemenge welche beim Schmelzen gebunden worden, wieder frei.

23. Verdunsten. Lässt man Schwefeläther, Weingeist, Wasser in einem offenen Glasgefässe längere Zeit an einem luftigen Orte stehen, so nimmt die Flüssigkeit mehr und mehr ab und verschwindet endlich ganz; feuchte Körper, sogar Teiche und Bäche trocknen bei anhaltender Dürre aus. Die Flüssigkeiten können also luftförmig werden. *Den Uebergang einer tropfbaren Flüssigkeit in den ausdehnnsamen Zustand, nennt man Verdunstung oder Verdampfung; die hiebei entstehenden gasförmigen Körper heissen Dünste oder Dämpfe. Denselben kommt, wie der Luft, Spannkraft zu.* In Folge der Verdunstung des auf der Erde befindlichen Wassers ist die Atmosphäre beständig mit Dünsten geschwängert, welche durch ihre Spannkraft jene der Luft erhöhen.

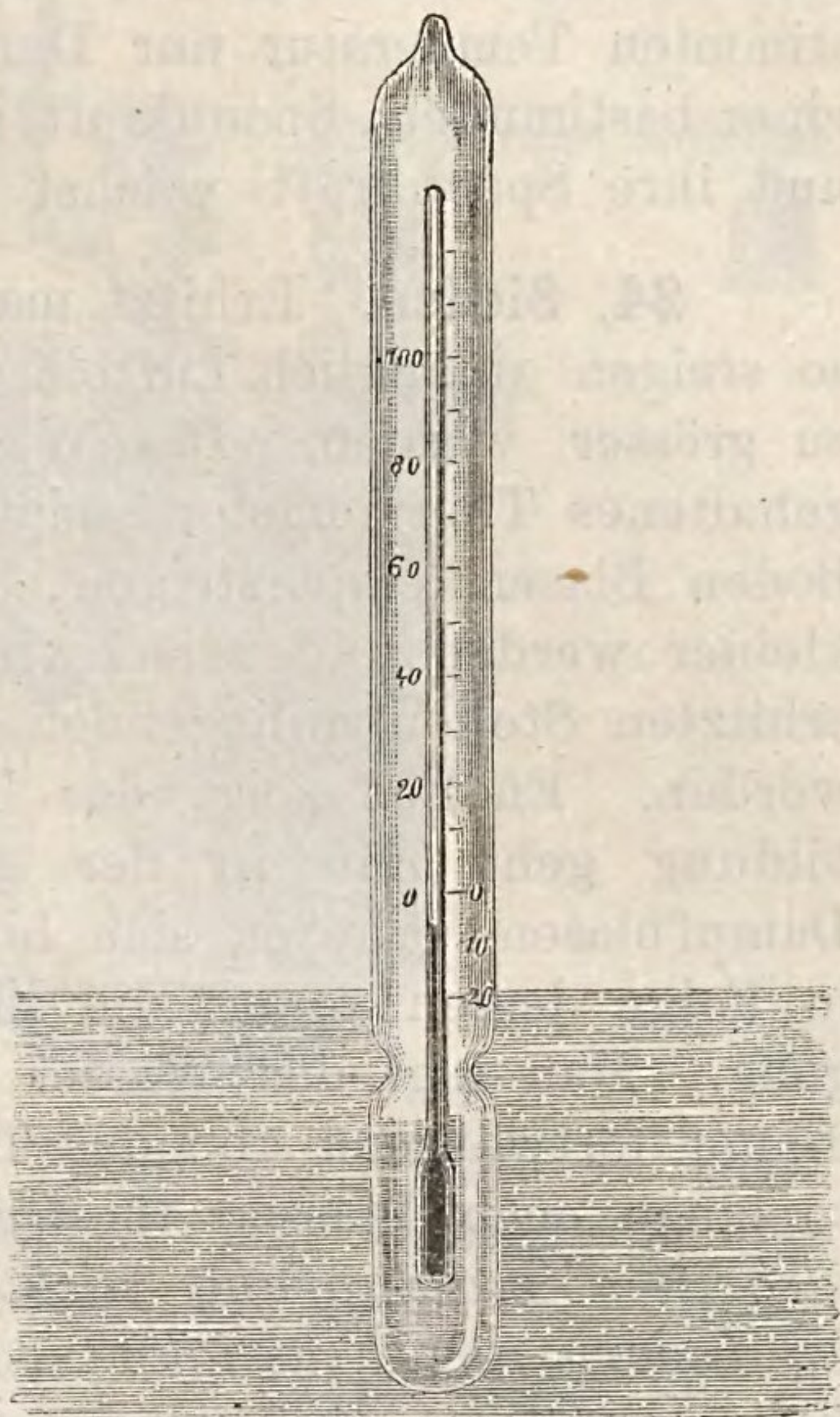
Stoffe, welche rasch verdunsten heissen flüchtig; z. B. Alcohol, Aether, ätherische Oele. Es verdunsten sogar feste Körper z. B. der Kampher, ebenso Eis, wie es das Trocknen der gefrorenen Wäsche zeigt. —

Nasse Wäsche, frisch gemähtes Gras und Getreide werden ausgebreitet, um das Trocknen zu beschleunigen; die Flüssigkeiten verdunsten in einer weiten flachen Schale, wo sie also eine grosse Oberfläche haben, schneller als in einer engeren. Gradierwerke in Salzsiedereien. — An warmen Sommertagen trocknen die Wege früher als an kühlen; feuchte Gegenstände werden zum warmen Ofen gehängt um sie schneller zu trocknen.

Die Verdunstung der Flüssigkeiten wird befördert:
a) durch Vergrösserung der freien Oberfläche, b) durch Erhöhung der Temperatur.

Unter einer Glasglocke, aus welcher die Luft ausgepumpt wird, verdunsten Flüssigkeiten schneller als im luftefüllten Raume. Bei der Verdunstung suchen die Theilchen an der Oberfläche von der Flüssigkeit sich loszureissen, der auf der Flüssigkeitsoberfläche lastende Druck wie z. B. der Druck der Luft, wirkt diesem Bestreben entgegen. In einem verschlossenen Gefässe geht die Verdunstung langsamer vor sich; die gebildeten Dünste drücken in Folge ihrer Spannkraft auf die Flüssigkeitsoberfläche. — Strassen trocknen früher, wenn Wind, namentlich wenn ein Nord- oder Ostwind weht, weil dieser Luft bringt, welche wenig Dünste enthält; feuchte Gegenstände werden schneller trocken an einem Orte, wo ein starker Luftzug herrscht (Trockenböden). Die Verdunstung wird daher auch befördert:

Fig. 23.



c) *Durch Verminderung des auf die Flüssigkeitsoberfläche ausgeübten Druckes; d) durch Entfernung der sich entwickelnden Dünste.* Der letztere Umstand ist auch, wie wir später genauer sehen werden, deshalb von Einfluss, weil in einem gegebenen Raume bei einer bestimmten Temperatur nur Dunst in einer begrenzten Menge und von einer bestimmten Spannkraft sich entwickeln kann. Diese Dunstmenge und ihre Spannkraft wächst übrigens mit der Temperatur.

24. Sieden. Erhitzt man in einem Glasgefässe reines Wasser, so steigen anfänglich Luftbläschen empor, welche gegen die Oberfläche zu grösser werden. Das Wasser verdunstet stark; ein in's Wasser gehaltenes Thermometer steigt. Man sieht später auch vom erhitzten Boden Blasen emporsteigen, die in den oberen kälteren Schichten kleiner werden und verschwinden; es sind nämlich die an den stark erhitzten Stellen anliegenden Wassertheilchen ausdehnungsfähig geworden. Endlich zeigt das Thermometer 100° C. an. Die Dampfbildung geht nun in der ganzen Flüssigkeitsmasse vor sich, die Dampfblasen erheben sich bis an die Oberfläche, wo sie zerplatzen; in Folge dessen geräth die Flüssigkeit in eine heftig wallende Bewegung. Man sagt das Wasser siede oder koche. Die Wassermenge nimmt fortwährend ab: das Thermometer weist beständig auf 100° C., so lange noch Wasser im Gefässe sich befindet. *Beim Sieden geht also die Verdampfung nicht blos an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Flüssigkeit vor sich; ferner wird die der Flüssigkeit zugeführte Wärme zur Dampfbildung verwendet. Die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit siedet, heisst Siedepunkt.*

Nicht selten unterscheidet man zwischen Verdampfung und Verdunstung, indem man letztere Bezeichnung für den Fall gebraucht, wo die Flüssigkeit nur an der Oberfläche in den ausdehnungsfähigen Zustand übergeht; diess erfolgt schon bei einer unter dem Siedepunkt liegenden Temperatur.

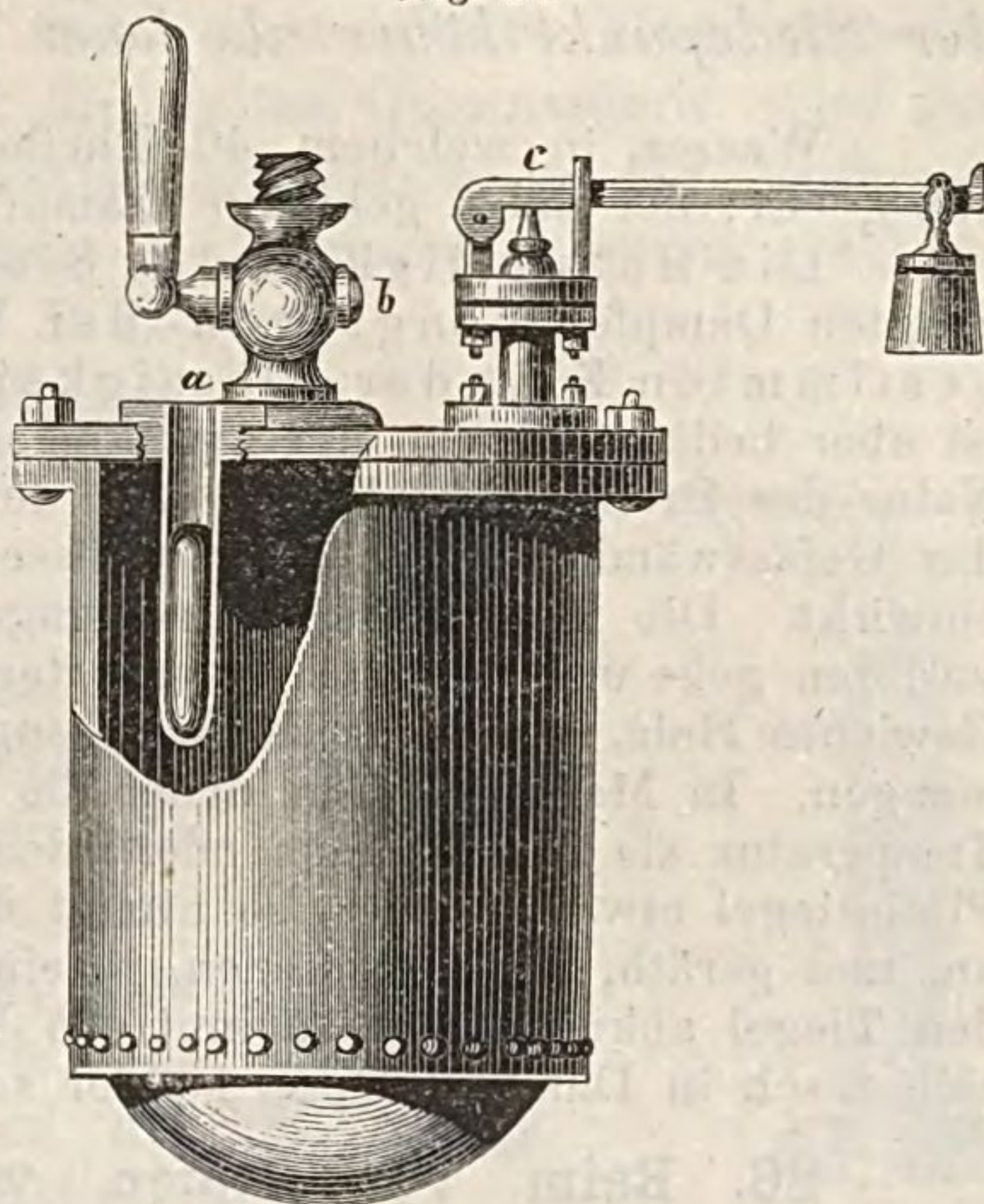
25. Abhängigkeit des Siedepunktes. Die an den erhitzten Gefässstellen gebildeten Dampfbläschen suchen sich zu erheben, und in Folge ihrer Spannkraft mehr auszudehnen; diesem Bestreben wirkt einerseits der Druck, welcher vom Gewicht der über ihnen stehenden Flüssigkeitssäule herrührt, andererseits der äussere Luftdruck entgegen. Soll nun die Flüssigkeit zum Sieden gebracht werden, so muss die Spannkraft der Dampfbläschen derart erhöht werden, dass sie den auf sie ausgeübten Druck zu überwinden vermögen. Die Spannkraft der Dämpfe nimmt aber wie jene der Gase mit ihrer Temperatur zu; auch wächst sie, wenn die Dämpfe dem Tropfbarwerden noch nicht nahe sind, mit der Dichte.

Versuch a). Wasser von etwa 50° C. unter eine Glasglocke gestellt, fängt an zu sieden, wenn aus jener die Luft ausgepumpt wird. Das Sieden hört auf, weil die gebildeten Dämpfe auf das Wasser stark drücken; werden diese entfernt, so beginnt das Sieden von Neuem.

Versuch b). Ein aus starkem Bleche verfertigter Kessel sei mit einem Deckel luftdicht verschliessbar. (Fig. 24.) Der Deckel hat

drei Oeffnungen; in der ersten ist ein Röhrchen *a* befestigt, welches theilweise mit Quecksilber gefüllt, zur Aufnahme eines Thermometers bestimmt ist; auf der zweiten sitzt ein mit einem Hahne versehenes Ansatzrohr *b*. — Die dritte ist mit einem Sicherheitsventil *c* verschlossen. Wird der Kessel bis auf $\frac{2}{3}$ mit Wasser gefüllt und hinreichend erhitzt, so fängt bei geöffnetem Hahne das Wasser zu kochen an, wobei das Thermometer stets auf den Siedepunkt zeigt. Wird der Hahn und dadurch den Dämpfen der Ausgang versperrt, so hört das Sieden auf; das Thermometer steigt. Ist die Spannkraft der Dämpfe endlich so gross geworden, dass sie den durch das Gewicht *p* mittelst des Hebels auf den kegelförmigen Stöpsel des Ventils ausgeübten Druck zu überwinden vermögen, so strömen die Dämpfe beim Ventil aus, wodurch einerseits das Zersprengen des Kessels verhindert und andererseits das Sieden wieder ermöglicht wird. Die ersten Versuche mit einem derartigen Apparate stellte um die Mitte des 17. Jahrhunderts der in Marburg lebende Gelehrte Papin an; ein solcher Apparat wird daher der Papin'sche Topf genannt.

Fig. 24.



1. Der Siedepunkt einer Flüssigkeit hängt von dem auf die Flüssigkeit ausgeübten Druck, also insbesondere vom Luftdrucke ab, so dass er mit diesem steigt und fällt.

Auf Bergen siedet das Wasser früher als an der Meeresfläche; so siedet das Wasser z. B. im Hospiz auf dem Sct. Bernhard (etwa 7700' über dem Meere) schon bei 92° C. (vgl. §. 13, 3). Da die Temperatur einer Flüssigkeit während des Siedens unverändert bleibt, so muss man sich auf hohen Bergen des Papin'schen Topfes bedienen, um Körper weich zu kochen. Dieses Topfes bedient man sich auch zum Auskochen von Knochen, Hirschhorn u. dgl. Warum werden die Töpfe, in welchen Fleisch u. dgl. weich gekocht werden sollen, zugedeckt? Warum leistet ein zugedeckter Topf nicht dasselbe wie der Papin'sche Topf? Zwei Thermometer stimmen in ihren Angaben nur überein, wenn ihre Siedepunkte bei demselben Luftdrucke ermittelt worden sind. — In einem Glaskolben werde Wasser zum heftigen Sieden gebracht, der Kolben werde vom Feuer weggenommen, rasch verkorkt und umgekehrt; das Sieden dauert fort. Das Sieden lässt wegen des Dampfdruckes nach, wird aber von neuem stärker, wenn der Kolben mit kaltem Wasser übergossen wird und so die Dämpfe durch Abkühlen tropfbar werden. Pulshammer. Wasserhammer.

2. Der Siedepunkt hängt ferner von der materiellen Beschaffenheit der Flüssigkeit ab.

So siedet beim mittleren Luftdruck (oder bei 760 Mm. Barometerstand) schweflige Säure bei — 10° C., Schwefeläther bei 37·8°, Alcohol bei 79·7°, Leinöl bei 316°, Quecksilber bei 350° C.

3. Der Siedepunkt einer Mischung liegt zwischen den Siedepunkten der Bestandflüssigkeiten; er liegt um so höher, je mehr von

jener Flüssigkeit vorhanden ist, welche bei der höheren Temperatur siedet.

4. Sind in einer Flüssigkeit feste Körper aufgelöst, so liegt der Siedepunkt höher als jener der reinen Flüssigkeit.

Wasser, in welchem 40 Theile Kochsalz aufgelöst sind, siedet erst bei $108\frac{1}{2}^{\circ}$ C.; der dabei gebildete Dampf hat jedoch die Temperatur von 100° .

Die Schnelligkeit des Siedens also auch die Menge des dabei erzeugten Dampfes hängt von der Wärmemenge ab, welche in einer bestimmten Zeit der Flüssigkeit zugeführt wird. Diese Wärmemenge ist aber bedingt a) von der zweckmässigen Einrichtung der Feuerstelle und der Natur des Brennmaterials; b) von der materiellen Beschaffenheit und der Dicke der Gefässwände; c) von der Grösse der Gefässfläche, auf welche das Feuer einwirkt. Die Feuerstelle soll so eingerichtet sein, dass möglichst wenig Wärme verloren gehe und dass das Brennmaterial möglichst vollständig verbrenne. Gleiche Gewichte Holz, Torf und Kohle erzeugen beim Verbrennen verschiedene Wärmemengen. In Metallgefässen siedet die Flüssigkeit früher und bei etwas niedrigerer Temperatur als in gläsernen oder irdenen. — Gibt man in einen lebhaft glühenden Platintiegel etwas Wasser, so nimmt dieses die Kugel- (sphäroidische) Gestalt an, und geräth, ohne zu siedend, in eine heftige drehende Bewegung. Lässt man den Tiegel abkühlen, so beginnt das Wasser plötzlich zu siedend und verwandelt sich rasch in Dampf. Diess ist der sogenannte Leidenfrost'sche Versuch.

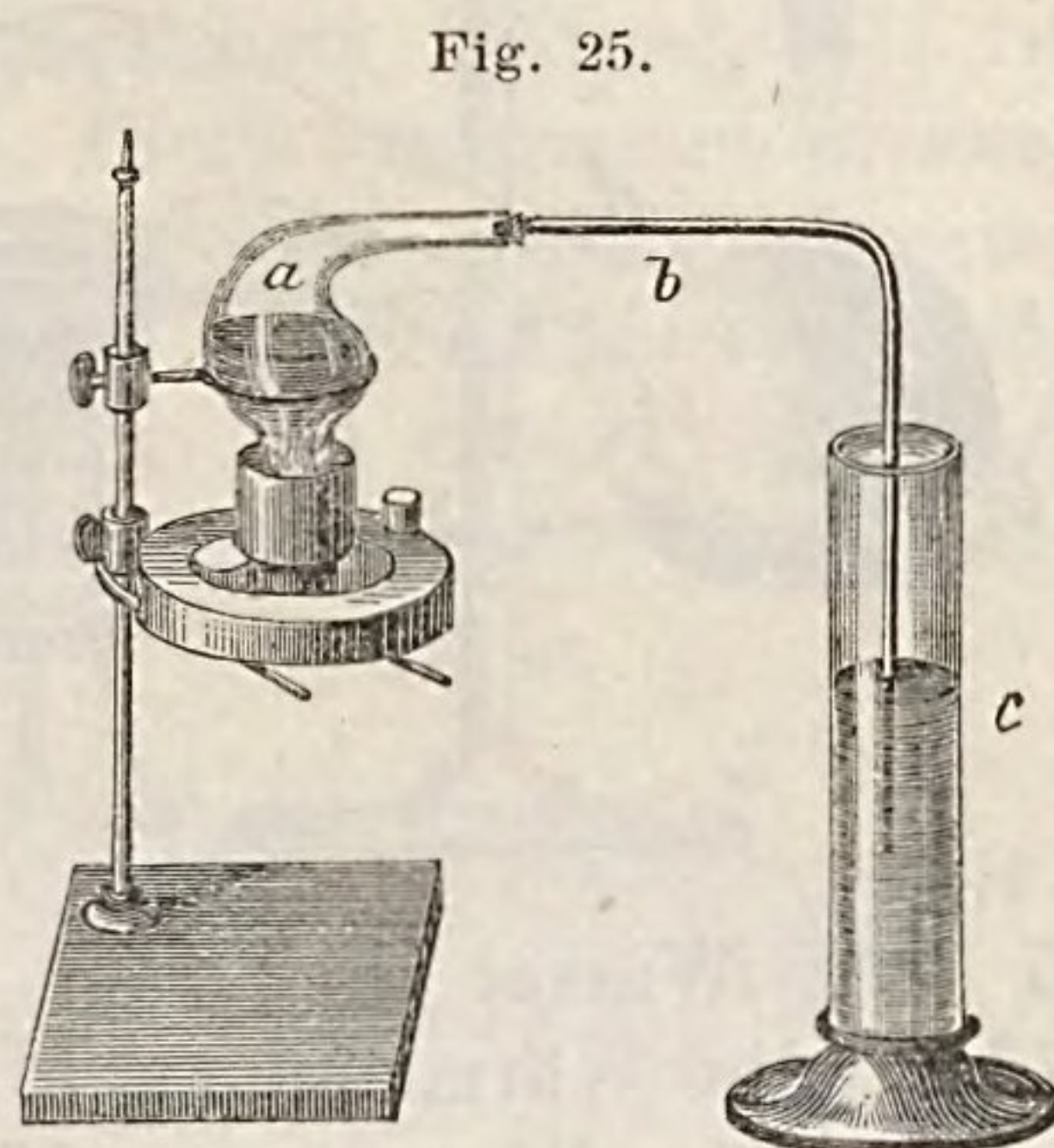
26. Beim Verdampfen wird Wärme gebunden. Versuch. Schüttet man auf die Hand ein wenig Schwefeläther oder Weingeist, so fühlt man eine merkliche Abkühlung; die Flüssigkeit verdampft, die dazu erforderliche Wärme wird der Hand entzogen. — Wird die Thermometerkugel mit Watta umhüllt und diese mit Schwefeläther, Weingeist oder Wasser benetzt, und die Verdunstung durch Hin- und Herschwenken befördert, so sinkt das Thermometer. — Beim Sieden des Wassers haben wir gesehen, dass das Thermometer stets auf 100° C. zeigt, so lange noch Wasser vorhanden ist; die zugeführte Wärme dient nur dazu, um das Wasser von 100° in Dampf von 100° C. zu verwandeln.

Beim Uebergange einer Flüssigkeit in den ausdehnenden Zustand wird Wärme gebunden; diese Wärme heisst Verdampfungswärme.

Hieraus erklärt sich die erfrischende Kühlung, welche wir an heissen Sommertagen in Zugluft empfinden; letztere kann auch nachtheilig wirken. Die Bildung und Verdunstung des Schweisses ist auch die Ursache, dass die Temperatur unseres Körpers selbst bei sehr hohen Hitzegraden die natürliche Körperwärme von 37° C. nicht viel übersteigt. Feuchte Winde bedecken den Körper mit kleinen Wassertropfen, welche verdunsten und dabei oft eine empfindliche Kälte (Nasskälte) erzeugen. Durch Bespritzen der Strassen, durch Verdunstung des Regenwassers wird die Luft abgekühlt. Flüssigkeiten werden kühl gehalten, wenn man das Gefäss mit feuchten Tüchern umhüllt. Ist das Gefäss porös, wie z. B. ein schwach gebranntes Thongefäss, so tritt das Wasser in feinen Tropfen an die äussere Oberfläche, verdunstet und entzieht dadurch der inneren Flüssigkeit Wärme. Solche Gefässe werden in Spanien und anderen warmen Ländern benutzt und heissen Alkarazzas. — Wird unter dem Recipienten der Luftpumpe eine flache, mit Schwefelsäure gefüllte Schale und über diese ein Schälchen mit Wasser gestellt, und die Luft ausgepumpt, so verdunstet das Wasser sehr rasch, da die Dämpfe theils ausgepumpt, theils von der Schwefelsäure verschluckt werden. Das Wasser gefriert. Eisbereitung in Ostindien. — Kryophor. — Eine Flüssigkeit erzeugt eine um so stärkere Verdunstungskälte, je flüchtiger sie ist; daher wirken Aether, Weingeist kühlender als Wasser.

27. Tropfbarwerden des Dampfes. Versuch *a*). Hält man über ein Gefäss, worin Wasser siedet, einen kalten Deckel, so wird dieser mit Wassertropfen bedeckt. — Bringt man in ein warmes Zimmer einen kalten Gegenstand, so wird er mit einer Wasserschichte überzogen, d. i. er läuft an. Durch die kalten Gegenstände wird dem aus dem Gefässe emporsteigenden Dampf, oder dem in der Luft vorhandenen Wasserdunst Wärme entzogen. — In einem einseitig geschlossenen hohlen Cylinder, welcher mit Wasserdampf gefüllt ist, werde ein Kolben hineingepresst; ein Theil des Dampfes wird tropfbar.

Versuch *b*). In einer Retorte *a* (Fig. 25) wird Wasser zum Kochen gebracht; die dabei sich bildenden Dämpfe werden durch das Glasrohr *b* in ein mit kaltem Wasser gefülltes Gefäss *c* geleitet. Die Dämpfe werden in *c* abgekühlt, das Wasser nimmt in *c* nahe um so viel zu als in *a* verdampft worden ist, und die Temperatur wird in *c* bedeutend erhöht.



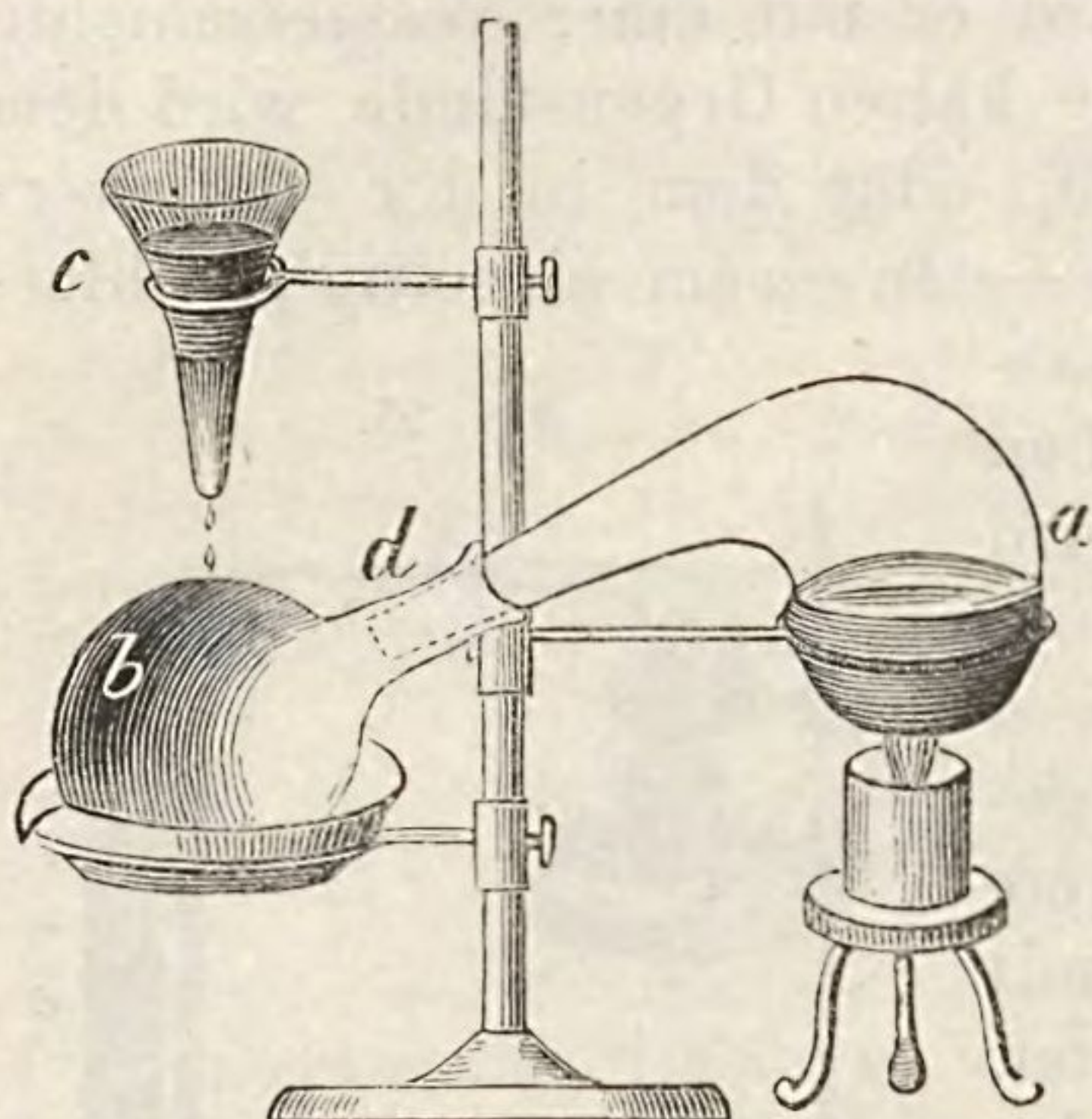
Durch Abkühlung und Zusammenpressen wird der Dampf tropfbar; dabei wird immer Wärme frei. Durch genaue Versuche findet man, dass beim Uebergange einer gewissen Dampfmenge in den tropfbar-flüssigen Zustand genau so viel Wärme frei wird als nothwendig war um diese Dampfmenge aus Wasser zu erzeugen.

Während die Dünste schon bei geringer Abkühlung und schwachem Drucke tropfbar werden, ist es bei Gasen (z. B. Kohlensäure) nur unter Anwendung sehr grosser Druckkräfte und bei sehr niedrigen Temperaturen möglich; ja manche Gase (z. B. Luft, Wasserstoff) hat man bis jetzt noch gar nicht tropfbar machen können. — Auch durch kältere Luft können Dämpfe und Dünste tropfbar gemacht oder condensiert werden. So wird der von uns ausgeathmete Wasserdunst an Wintertagen sichtbar; so bewirken die vom festen Lande kommenden kälteren Luftströme das „Rauchen“ der Gewässer. Die Nebel sind ebenfalls theilweise condensierter Wasserdunst, und bestehen aus lauter kleinen Wassertröpfchen. Die Wolken unterscheiden sich vom Nebel nur dadurch, dass sie in höheren Luftschichten schweben; durch stärkere Condensation von Dünsten können die Wassertröpfchen der Wolken so gross werden, dass sie den Widerstand der Luft überwinden und als Regen niederfallen. Der Thau ist ebenfalls durch kalte Gegenstände condensierter Wasserdunst; sind die im Freien befindlichen Gegenstände bis auf 0° abgekühlt, so gefriert der Thau und bildet den Reif. Weil beim Flüssigwerden der Dämpfe sehr viel Wärme frei wird, so benutzt man Wasserdampf zum Beheizen von Fabrikslokalitäten, zum Erwärmen der Trockencylinder bei der Papier- und Tuchfabrication, zum Sieden der Erdäpfel in Branntweinbrennereien. Die durch den Aequatorialstrom aus der heissen in die kälteren Zonen geführten Dünste werden hier verdichtet und wirken daher erwärmend.

Fängt man die beim Versuche *b*) entwickelten Dämpfe in einem Kolben *b* (Fig. 26) auf, welcher von kaltem Wasser umgeben ist, so erhält man in *d* destillirtes Wasser, welches von den fremdartigen festen Theilen befreit ist. Es reicht übrigens hin, wenn man die Vorlage *b* nur an einer Stelle abkühlt, indem man auf sie beständig kaltes Wasser aus *c* tropfen lässt. Besteht eine Flüssigkeit wie z. B. der Weingeist aus einer Mischung zweier Flüssigkeiten, wovon die eine früher siedet als die andere, so kann man die Bestandtheile durch Destillation von einander trennen, wozu man besondere Destillierapparate hat.

28. Specifische Wärme und Wärmecapacität. Ein Körper von bestimmter Masse und bestimmter Temperatur enthält eine bestimmte

Fig. 26.



Wärmemenge, welche genau gemessen werden kann. Zu diesem Zwecke hat man als *Wärmeeinheit* die *Wärmemenge* angenommen, welche *erforderlich* ist, 1 Pfd. reines Wasser um 1° C. zu erwärmen. Da dieselbe Wärmemenge stets dieselbe Wirkung hervorbringt, so werden 2, 3, 4 u. s. w. Pfd. Wasser beziehungsweise die Wärmemenge 2, 3, 4 u. s. w. brauchen, damit ihre Temperatur um 1° C. erhöht werde. Ebenso werden 2, 3, 4 u. s. w. Wärmeeinheiten notwendig sein um 1 Pfd. Wasser um 2° , 3° , 4° u. s. w. zu erwärmen.

5 Pfd. Wasser bedürfen daher zu einer Temperatursteigerung von 7° C. die Wärmemenge $5 \times 7 = 35$, d. h. so viel als erfordert wird um 1 Pfd. Wasser von 0° auf 35° C. zu erwärmen.

Die Untersuchungen haben gelehrt, dass gleiche Gewichtsmengen stofflich verschiedener Körper zu gleichen Temperaturerhöhungen sehr ungleiche Wärmemengen erfordern. So braucht z. B. 1 Pfd. Quecksilber zu einer Erwärmung um 1° C. nur $\frac{1}{33}$ jener Wärmemenge, welche 1 Pfd. Wasser zu derselben Temperaturerhöhung erfordert. Man nennt deshalb jene *Wärmemenge*, welche ein Pfund eines Körpers zu einer Temperaturerhöhung von 1° C. benöthigt, die *specifische Wärme* des Körpers, und die Fähigkeit diese Wärmemenge in sich aufzunehmen seine *Wärmecapacität*. Die specifische Wärme des Wassers wird als Einheit angenommen. Die specifische Wärme eines Körpers nimmt ab, wenn seine Dichte wächst, und ist bei höherer Temperatur grösser als bei niedriger; ferner wird sie mit dem Aggregationszustande gleichzeitig geändert.

Zwischen 0° und 100° ist die specif. Wärme des Wassers 1, des Bleies 0.031, des Eisens 0.114, des Kupfers 0.095, des Zinkes 0.096, des Goldes 0.032, des Silbers 0.057, des Quecksilbers 0.033, des Schwefels 0.202, des Alcohols 0.66, der Luft 0.267. Die specif. Wärme des Eises ist 0.513. Hieraus ist zu ersehen, dass das Wasser die grösste specif. Wärme besitzt, jene der Metalle aber sehr klein ist. Letztere eignen sich deshalb besonders zur thermometrischen Substanz, denn sie brauchen dem zu untersuchenden Körper nur wenig Wärme zu entziehen, um bis zu einer gewissen Temperatur erwärmt zu werden. Weil die specif. Wärme des Erdbodens nur etwa $\frac{1}{4}$ ist, so wird er bei sonst gleichen Umständen rascher erwärmt und abgekühlt als das Wasser. — Da die Wärmecapacität gerade so wächst und abnimmt wie die specif. Wärme, so werden meist beide Ausdrücke als gleichbedeutend angesehen und einer für den andern gebraucht. — Welche Wärmemenge erfordern 18 Pfd. Eisen zu einer Temperaturerhöhung von 5° , wenn die specif. Wärme des Eisens $= \frac{1}{9}$ gesetzt wird? 18 Pfd. Wasser brauchen zur Erwärmung um 5° C. 18×5 Wärmeeinheiten; da aber das Eisen nur den 9. Theil davon bedarf, so erfordern 18 Pfd. Eisen zu einer Temperaturerhöhung von 5° C. die Wärmemenge $18 \times 5 \times \frac{1}{9} = 10$. Die Wärmemenge, welche

ein Körper zu einer bestimmten Temperaturerhöhung braucht, ist daher gleich dem Producte aus dem Gewichte, aus der Temperaturerhöhung und aus der specif. Wärme des Körpers. — Nach der obigen Wärmeeinheit werden auch die Flüssigkeits- und die Verdampfungswärme (§§. 22, 26) gemessen. Die Flüssigkeitswärme von einem Pfund Eis ist 79; die Verdampfungswärme, welche ein Pfund Wasser von 100° C. erfordert, um in Dampf von 100° überzugehen, ist 536.5. — Letztere ist bei derselben Flüssigkeit für verschiedene Temperaturen verschieden, hängt übrigens so wie die Flüssigkeitswärme von der materiellen Beschaffenheit der Körper ab.

29. Quellen der Wärme. 1. Die vorzüglichste Wärmequelle ist die *Sonne*, deren Strahlen theils erleuchtend, theils erwärmend wirken. *Die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen hängt wesentlich von ihrer Richtung ab; dieselbe ist am grössten wenn die Strahlen senkrecht auffallen.* Diess erhellt schon daraus, dass (Fig. 27) eine Fläche *AB* von mehr Strahlen getroffen wird, wenn diese senkrecht, als wenn sie schräg auffallen. Übrigens ist auch die Beschaffenheit der Oberfläche und die Farbe der Körper auf die Erwärmung durch die Sonne von Einfluss. So werden dunkel gefärbte Gegenstände stärker erwärmt als weisse oder hell gefärbte.

Fig. 27.



Auf Dächern und Abhängen schmilzt der Schnee früher als in der horizontalen Ebene. Die Früchte reifen schneller und besser auf Höhen mit südlicher Abdachung, weil sie hier von den weniger schrägen Strahlen der Mittagssonne getroffen werden. Die Fenster von Treibhäusern und Mistbeeten werden schräg aufgestellt. Die dunkle Ackererde wird mehr erwärmt, als wenn sie hell ist; schmutzig gewordener Schnee schmilzt rasch. — Aus der Abhängigkeit der Erwärmung von der Richtung der Sonnenstrahlen erklärt sich ferner a) der tägliche Wärmewechsel. Morgens und Abends fallen die Sonnenstrahlen in sehr schiefer, Mittags in der am wenigsten schrägen Richtung auf; daher nimmt die Tageswärme vom Morgen gegen Mittag zu, von da gegen Abend wieder ab. In der Nacht strahlt die Erde sehr viel Wärme aus, kühlt immer mehr ab, und gegen Sonnenaufgang tritt die geringste Temperatur ein. Die grösste Tagestemperatur tritt im Winter etwa um 1 Uhr, im Sommer erst zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags ein. b) Der jährliche Wärmewechsel. Im Sommer steht die Sonne nicht nur länger sondern auch höher über dem Horizonte als im Winter. In unseren Gegenden ist der Januar der kälteste, der Juli der heisseste Monat. Die Monate December, Jänner, Februar werden zum Winter, März, April, Mai zum Frühling, Juni, Juli, August zum Sommer und die übrigen drei zum Herbst gerechnet. c) Der verschiedene Wärmezustand der Zonen; während am Aequator die Sonnenstrahlen senkrecht auffallen, wird von ihnen ein Ort um so schräger getroffen, je weiter er vom Aequator entfernt ist. — Beobachtet man an einem Orte während eines Tages mehrmals die Temperatur, und dividirt die Summe derselben durch die Anzahl der Beobachtungen (d. h. nimmt man das arithmetische Mittel der Temperaturen), so heisst der Quotient die mittlere Temperatur des Tages. Man macht an einem auf der Nordseite des Gebäudes im Schatten aufgehängten Thermometer gewöhnlich drei Beobachtungen, und zwar um 6 oder 7 Uhr früh, um 2 Uhr Mittags und um 8 Uhr Abends. Die Summe der mittleren Temperaturen der Tage eines Monats durch die Anzahl der Monatstage dividirt gibt die mittlere Monatstemperatur. Wenn man die Summe der mittleren Monatstemperaturen eines Jahres durch 12 dividirt, so erhält man die mittlere Temperatur des Jahres. Das arithmetische Mittel der mittleren Temperaturen einer längeren Reihe von Jahren ergibt die mittlere Temperatur des Ortes. Diese ist für Wien 10.1° C. für Prag 9.5° , für Kremsmünster 8.3° . — Auf den täglichen und jährlichen Gang der Wärme haben übrigens sehr viele Umstände grossen Einfluss. So wird ein mit Pflanzen dicht bedeckter Boden weniger erwärmt, aber auch weniger abgekühlt

als eine kahle Sandfläche; ebenso wird das Wasser wegen seiner grossen Wärmecapacität bei weitem langsamer erwärmt und abgekühlt als der feste Erdboden. Ausserdem bewirkt die beständige Verdunstung während des Tages und des Sommers eine bedeutende Wärmebindung, also auch Abkühlung; indem sich aber des Nachts und während des Winters die Dünste wieder condensieren wird Wärme frei. Auf Inseln und an Küsten ist der Sommer kühler, der Winter wärmer als im Binnenlande. Die Temperatur ist an einem Orte um so niedriger, je höher über der Meeresfläche derselbe liegt. Ewiger Schnee; Schneegrenze. — Winde und die Nachbarschaft wirken bald günstig bald ungünstig auf den Wärmezustand eines Ortes ein. Der Polar- und Aequatorialstrom, sowie gewisse Strömungen des Meerwassers (Golfstrom) üben einen grossen Einfluss aus. Die heisse Zone wirkt auf die Nachbarschaft erwärmend ein, ebenso grosse Sandflächen.

2. *Innere Erdwärme.* Die Wärme, welche die oberste Erdschichte von der Sonne erhält, pflanzt sich wegen der schlechten Leitungsfähigkeit der Erdmasse nur langsam fort; daher thauen die tiefer gelegenen Erdschichten später auf als die oberen. Bei gewisser Tiefe bleibt aber die Temperatur Jahr aus Jahr ein dieselbe; so zeigt das Thermometer in den Kellern der Pariser Sternwarte bei einer Tiefe von etwa 24 Metern (76 W. Fuss) stets $+ 11.7^{\circ}$ C. Auf diese und daher auch auf die tiefer gelegenen Erdschichten, übt die Sonnenwärme keinen Einfluss mehr aus. Man hat jedoch gefunden, dass unterhalb dieser Schichte von unveränderlicher Temperatur der Wärmegrad zunimmt; so ergab sich in Wien, dass einer Zunahme der Tiefe von 80 Fuss eine Temperaturerhöhung von 1° C. entspricht. Die Erde muss demnach eine ihr eigenthümliche Wärme besitzen; dieselbe kann sich jedoch wegen der schlechten Leitungsfähigkeit der festen Erdrinde an der Oberfläche nicht merklich äussern.

An manchen Orten werden Feldfrüchte in Gruben gegen die Winterkälte sicher geborgen. — Im Winter ist es in Kellern wärmer als im Freien; in tiefen Kellern ändert sich die Temperatur weniger als in seichten. Die warmen Quellen, die vulkanischen Erscheinungen, das Abschmelzen des den Boden berührenden Gletschereises stehen mit der inneren Erdwärme im Zusammenhange. Die Karlsbader Quelle hat $+ 75^{\circ}$ C, jene von Wiesbaden 70° .

3. *Wärmeentwicklung durch mechanische Mittel.* Reibt man eine Münze auf dem Boden, um sie zu putzen, so wird sie warm. Feilen, Bohrer, Sägen erwärmen sich bei längerem Gebrauche; ebenso die Zapfen der Räder, Hemmschuhe, Seile welche über Rollen laufen.

a) *Durch Reibung wird Wärme entwickelt.*

Beim Feuerschlagen werden die vom Stahl losgerissenen Theilchen durch die in Folge der Reibung erzeugte Wärme glühend und entzünden den Schwamm oder den Zunder. Zündhölzchen. Wasser wird durch Schütteln wärmer. Holzstücke aneinander gerieben entzünden sich.

Versuch. In einem dickwandigen, an einem Ende geschlossenen Cylinder wird ein luftdicht anschliessender Kolben, an dem Feuerschwamm befestigt ist, rasch hineingestossen; die Luft wird dadurch zusammengedrückt und verdichtet; der Schwamm entzündet sich. Diese Vorrichtung heisst das pneumatische Feuerzeug. Münzen erwärmen sich beim Prägen; Eisen kann durch Hämmern glühend gemacht werden. Zündhütchen.

b) *Durch Druck wird Wärme entwickelt.*

Gleichwie beim Zusammenpressen eines Gases Wärme frei wird, so wird andererseits Wärme gebunden, wenn das Gas sich rasch ausdehnt. Hieraus erklärt

sich die kühlende Wirkung der aus einer engen Oeffnung gepressten verdichteten Luft, wofern diese sich ausbreiten kann. Stark poröse Körper z. B. gepulverte Kohle verschlucken immer Luft und Feuchtigkeit, wobei letztere verdichtet werden. In Folge dessen wird Wärme frei, oft so viel, dass eine Entzündung eintritt. Warum wird durch Blasen die warme Suppe abgekühlt?

Eine sehr wichtige Wärmequelle sind die chemischen Vorgänge, wie sie beim *Verbrennen* und beim *Lebensprocesse* auftreten. Endlich werden wir in der *Elektricität* eine neue Wärmequelle kennen lernen, welche sich unter andern in der Entzündung von Häusern durch den Blitz äussert.

IV. VON DEN CHEMISCHEN ERSCHEINUNGEN.

30. Lösung. Ein Stück Zucker in ein Glas Wasser gegeben, zerfällt in kleinere und kleinere Theilchen, welche sich, besonders wenn man umrührt, im Wasser verbreiten und dem Auge unsichtbar werden. Die Flüssigkeit lässt aber die Eigenschaften des Zuckers und Wassers noch deutlich erkennen; sie erscheint jedoch in allen ihren Theilen von gleicher Beschaffenheit. Man nennt den Vorgang einer solchen gleichmässigen Vertheilung eines festen Körpers in einer Flüssigkeit *Lösung*. Die dabei angewendete Flüssigkeit heisst das *Lösungsmittel*. Die Versuche haben gelehrt:

a) *In einer und derselben Flüssigkeit ist nicht jeder Körper löslich.* Wasser löst zwar Kochsalz, Alaun, Glaubersalz, nicht aber Schwefel; dieser kann, wie auch Harze, im Weingeist gelöst werden.

b) *Eine bestimmte Menge einer Flüssigkeit vermag einen Stoff nur bis zu einer bestimmten Menge zu lösen.* Ist die möglich grösste Menge eines Körpers gelöst, so heisst die *Lösung gesättigt*, oder man sagt, sie habe den *Sättigungspunkt* erreicht.

100 Theile Wasser vermögen höchstens 37 Theile Kochsalz zu lösen. Ist daher mehr Kochsalz im Wasser enthalten, so erscheint die Lösung durch die ungelösten Salztheilchen getrübt; man entfernt sie entweder durch Filtrieren oder dadurch, dass man sie sich niederschlagen lässt. — Eine mit einem Stoffe gesättigte Lösung kann übrigens noch andere Stoffe lösen, oft sogar mehr als wenn das Lösungsmittel ganz rein wäre. So wird in gypshaltigem Wasser mehr Kochsalz als in reinem Wasser gelöst.

c) *Der Sättigungspunkt hängt von der materiellen Beschaffenheit der Stoffe, und auch von der Temperatur des Lösungsmittels ab.*

Siedendes Wasser vermag höchstens 230 Theile Salpeter, eiskaltes nur 13 $\frac{1}{2}$ Th. zu lösen; gebrannter Kalk ist im kalten Wasser löslicher als im warmen; Kochsalz ist in kaltem und heissem Wasser in gleichen Mengen löslich. — Das Lösen wird beschleunigt durch Pulverisieren des festen Körpers, durch Umrühren und Erwärmen. — Die Vereinigung zweier oder mehrerer verschiedenen Flüssigkeiten zu einer neuen durchaus gleichartigen nennt man *Mischung*; so sind Alkohol und Wasser, Wein und Wasser u. s. w. mischbar. Bei der Mischung

findet oft eine Volumverminderung statt; eine Maass Alkohol und eine Maass Wasser geben gemischt weniger als zwei Maass.

31. Chemische Verbindung. Versuch *a*). Kupferfeilicht mit pulverisiertem Schwefel gemengt werde in einem Glaskolben erhitzt; die Masse erglüht, ein Theil des Schwefels verdampft. Nach wieder erfolgter Abkühlung findet man im Glaskolben einen ganz neuen Körper vor, welcher selbst im fein zerriebenen Zustande weder Kupfer noch Schwefel erkennen lässt. Dieser von Kupfer und Schwefel wesentlich verschiedene Körper heisst Schwefelkupfer oder Kupferkies.

Versuch *b*). Werden Quecksilber und Schwefel zusammen gerieben, so erhält man ein schwarzes Pulver, den sogenannten schwarzen Zinnober, welcher durch Erhitzen in den rothen Zinnober übergeht.

Die Vereinigung von zwei oder auch mehreren stofflich verschiedenen Körpern zu einem neuen, durchaus gleichartigen, von jenen wesentlich verschiedenen Körper heisst eine chemische Verbindung; Stoffe, welche mit einander sich chemisch verbinden, heissen chemisch verwandt. Die Ursache der chemischen Verwandtschaft (Affinität) ist die zwischen den stofflich verschiedenen Körpertheilchen wirkende Anziehungskraft.

Versuch *c*). Erhitzt man ein Gemenge von Schwefel, Quecksilber und Eisenpulver, so verbindet sich der Schwefel nur mit letzterem zu Schwefeleisen.

Die chemische Verwandtschaft ist also zwischen verschiedenen Stoffen sehr verschieden, und ist nur bei unmittelbarer Berührung der Stoffe wirksam. Dieselbe äussert sich auch zwischen denselben zwei Körpern *um so stärker, je inniger sich dieselben berühren können*, also wenn die Körper pulverisiert sind, oder wenn mindestens der eine flüssig ist. Dabei kommt auch in Betracht, dass der Zusammenhang der Theilchen desselben Körpers der chemischen Anziehung entgegengewirkt. Die chemische Verwandtschaft *wechselt auch mit der Temperatur*; so ist dieselbe zwischen Kalk und Kohlensäure bei gewöhnlicher Temperatur sehr stark, bei der Glühhitze aber gleich Null. Man hat ferner gefunden, dass die *Stoffe*, wie gross auch ihre Verwandtschaft sein mag, sich nur *in gewissen, genau bestimmten Gewichtsmengen verbinden*. So sind im Schwefelkupfer 16 Gewichtstheile Schwefel mit 31.75 Gewichtstheilen Kupfer vereinigt.

32. Chemische Zersetzung. Grundstoffe. Versuch. Erwärmt man Zinnober mit Eisenpulver, so wird Quecksilber abgeschieden und das Eisen in Schwefeleisen verwandelt.

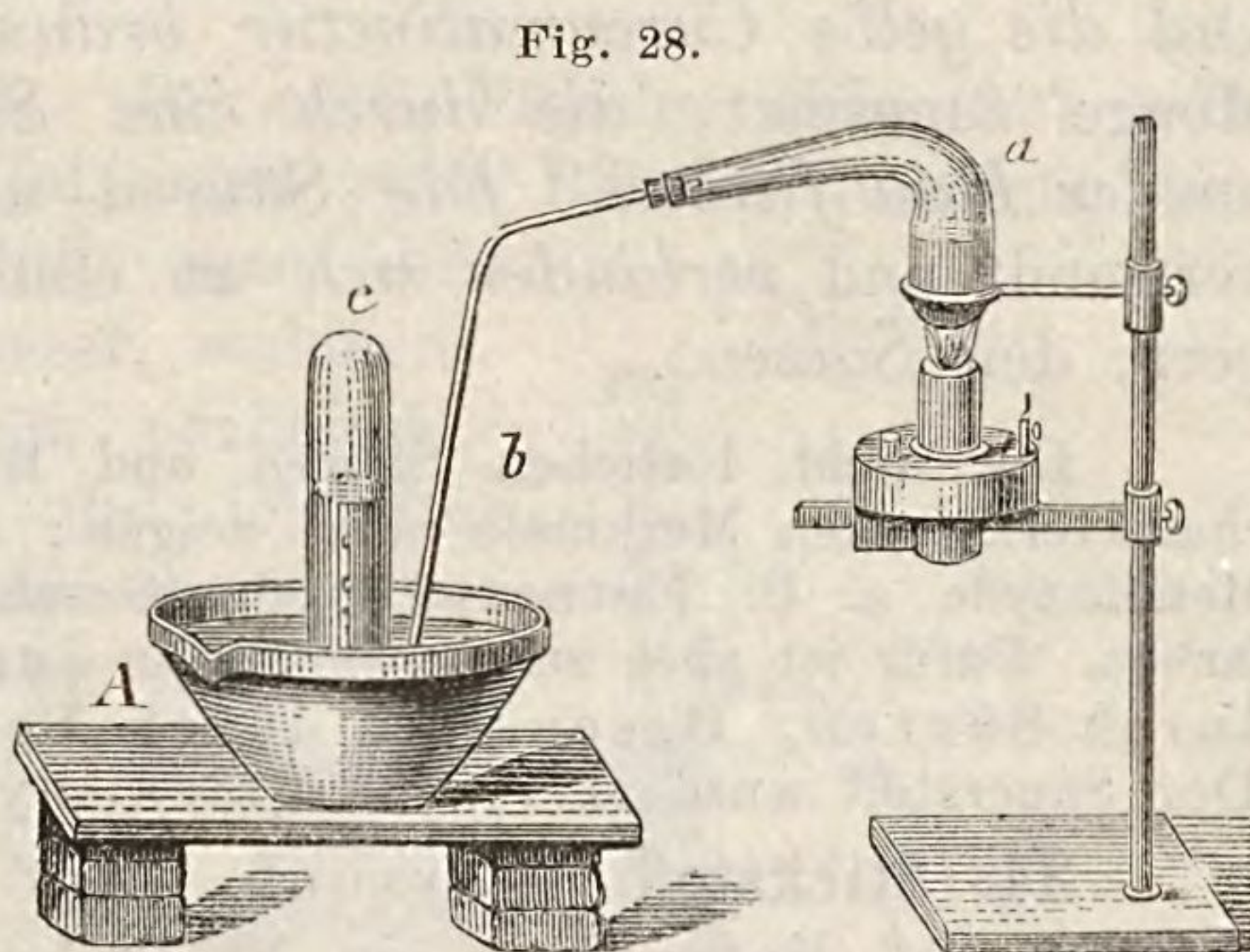
Die Zerlegung eines Körpers in seine chemischen Bestandtheile heisst chemische Zersetzung oder Analyse. Dieselbe wird zumeist durch *die stärkere Verwandtschaft* eines Stoffes zu einem Bestandtheile des zu analysierenden Körpers bewerkstelligt, wie im vorigen Versuche. Auch *die Wärme* (beim Kalkbrennen wird aus dem Kalkstein die Kohlensäure ausgeschieden), *das Licht* (wie in der Photographie) und *die Elektricität* wirken zersetzend; ja manchmal sind schon schwache Erschütterungen hiezu ausreichend (Knallquecksilber).

Indem man verschiedene Körper der chemischen Analyse unterzog, fand man solche *Stoffe*, welche durch die gegenwärtig uns zu

Gebote stehenden Mittel *sich nicht weiter in andere ungleichartige Stoffe zerlegen lassen*. Solche Stoffe *heissen einfache, Grundstoffe* oder chemische Elemente im Gegensatze zu den aus ihnen bestehenden zusammengesetzten Körpern. *Es sind bis nun 64 Grundstoffe bekannt, welche sich in zwei Gruppen scheiden lassen*. Die Glieder der einen Gruppe *heissen Metalle*, die der anderen *Metalloide*. Jene besitzen einen eigenthümlichen Glanz, sind undurchsichtig, im Wasser unlöslich geruchlos und schmelzbar. Die nicht metallischen Elemente stimmen in ihren Eigenschaften bei weitem nicht so überein wie die ersteren, und sind theils fest, theils tropfbar oder luftförmig.

Metalle sind: Eisen, Kupfer, Zink, Silber, Gold, Platin, Kalium, Natrium u. s. w.; die verbreitetsten Metalloide sind: Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Phosphor, Schwefel, Kohlenstoff. — Solche Erscheinungen, welche mit einer vollständigen Änderung in dem Wesen der Körper verbunden sind, *heissen chemische* im Gegensatze zu den physikalischen Erscheinungen, bei welchen die wesentlichen Eigenschaften der Körper ungeändert bleiben. Mit jenen befasst sich die Chemie, mit den letzteren die Physik.

33. Sauerstoff. Versuch. In einer Retorte *a* (Fig. 28) werde etwas chlorsaures Kali erhitzt. Durch die Wärme wird die in der Retorte befindliche Luft durch das Gasleitungsrohr *b* ausgetrieben; das chlorsaure Kali schmilzt und entwickelt eine Menge Gasblasen, welche man in dem mit Wasser gefüllten Cylinder *c* auffängt, indem man diesen auf die Brücke der sogenannten pneumatischen Wanne *A* stellt. Das Gas, welches Sauerstoff oder Oxygen heisst, unterscheidet sich für den Augenblick nicht von der Luft. Ein hineingehaltener glimmender Holzspan entzündet sich und verbrennt lebhafter als in der Luft; Schwefel verbrennt im Sauerstoffe mit schönem blauen, Phosphor mit fast unerträglich hellem Lichte; eine dünne, an einem Ende glühend gemachte Uhrfeder verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen.



Der *Sauerstoff* ist ein farb- und geruchloses Gas, welches selbst nicht brennt, aber das Brennen anderer Körper unterhält. Derselbe kommt nicht nur in den meisten Mineralien, im Pflanzen- und Thierkörper vor, sondern bildet auch einen wesentlichen Bestandtheil des Wassers und der atmosphärischen Luft. Der Sauerstoff hat ferner eine sehr grosse chemische Verwandtschaft zu den anderen Stoffen und geht daher mit ihnen sehr leicht Verbindungen ein. Der dabei stattfindende Vorgang heisst *Oxydation*, der daraus hervorgehende Körper im allgemeinen ein *Oxyd*. Die *Oxydation* ist regelmässig mit *Wärme- und* unter günstigen Umständen auch mit *Lichtentwicklung verbunden*; ein solcher Oxydationsvorgang wird gewöhnlich *Verbrennung* genannt.

Beim Verbrennen des Schwefels im Sauerstoff entsteht ein gasförmiger Körper, welcher einen stechenden Geruch verbreitet, wie man ihn beim Verbrennen von Schwefelhölzchen verspürt. Dieses Gas wird von dem im Glaszylinder etwa noch vorhandenen Wasser stark verschluckt, und mengt sich mit diesem beim Schütteln, wodurch das Wasser einen sauren Geschmack und die Eigenschaft erhält, blaues Lackmuspapier zu röthen. Dieses Gas besteht aus Schwefel und Sauerstoff und heisst schweflige Säure. Auch die beim Verbrennen des Phosphors gebildete Phosphorsäure zeigt dieselben Eigenschaften. — Hält man mittelst eines Drahtes einen Kork, auf welchem ein Stückchen des Metalles Natrium liegt, in Sauerstoff, so verwandelt sich dieses in eine weisse Masse, Natron genannt, welche im Wasser gelöst, diesem einen laugenartigen oder alkalischen Geschmack und die Fähigkeit gibt, die gelbe Curcumatinctur braun, ja sogar Lackmuspapier, welches durch schweflige Säure oder dgl. geröthet ist, wieder blau zu färben.

Chemische Verbindungen, welche einen sauren Geschmack haben und blaue Pflanzenfarben röthen, werden Säuren genannt. Hingegen heissen Basen jene Stoffe, welche laugenartig (alkalisch) schmecken und die gelbe Curcumatinctur braun, oder auch, in hinreichender Menge zugesetzt, die durch eine Säure gerötheten Pflanzenfarben wieder blau färben. Die Säuren und Basen sind chemisch sehr verwandt und verbinden sich zu einer besonderen Gruppe von Körpern, den Salzen.

Die nicht löslichen Säuren und Basen können die oben angeführten charakteristischen Merkmale nicht zeigen; so haben die Kieselsäure und viele Metalloxyde z. B. Eisenoxyd weder Geschmack noch verändern sie Pflanzenfarben. Dafür ist aber zu merken, dass aus einer Verbindung Säuren nur durch Säuren, Basen nur durch Basen ausgeschieden werden. — Der Sauerstoff wurde 1774 von Priestley und 1775 von Scheele entdeckt.

34. Stickstoff. Versuch. Auf Wasser schwimme eine Korkscheibe, auf dieser liege ein Stückchen Phosphor. Zündet man letzteren an und stürzt darüber eine Glasglocke, so dass sie mit Wasser abgesperrt ist, so verbrennt der Phosphor und bildet mit dem Sauerstoff der Luft Phosphorsäure, welche vom Wasser verschluckt wird. Nach dem Erlöschen des Phosphors steigt das Wasser in der Glocke; das Volumen der Luft hat sich also vermindert. Das zurückgebliebene Gas heisst Stickstoff oder Nitrogen.

Der *Stickstoff* ist farb- und geruchlos, brennt weder, noch unterhält er das Brennen, denn brennende Körper erlöschen darin; Thiere ersticken darin (daher sein Name) blos desshalb, weil der zum Leben unentbehrliche Sauerstoff fehlt. Dieses Gas verbindet sich nur schwer mit anderen Stoffen. Mit Sauerstoff verbindet es sich unter andern zu *Salpetersäure* (so genannt, weil sie aus Salpeter gewonnen wird), welche gewöhnlich als Hydrat d. i. in Verbindung mit einer bestimmten Menge Wasser vorkommt. Reine Salpetersäure ist farblos, stark ätzend, hat einen eigenthümlichen Geruch und sauren Geschmack; färbt Pflanzen und Thierstoffe gelb und löst die meisten Metalle (Gold und Platin nicht) auf. Mit Wasser, das sie unter Wärmeentwicklung auf-

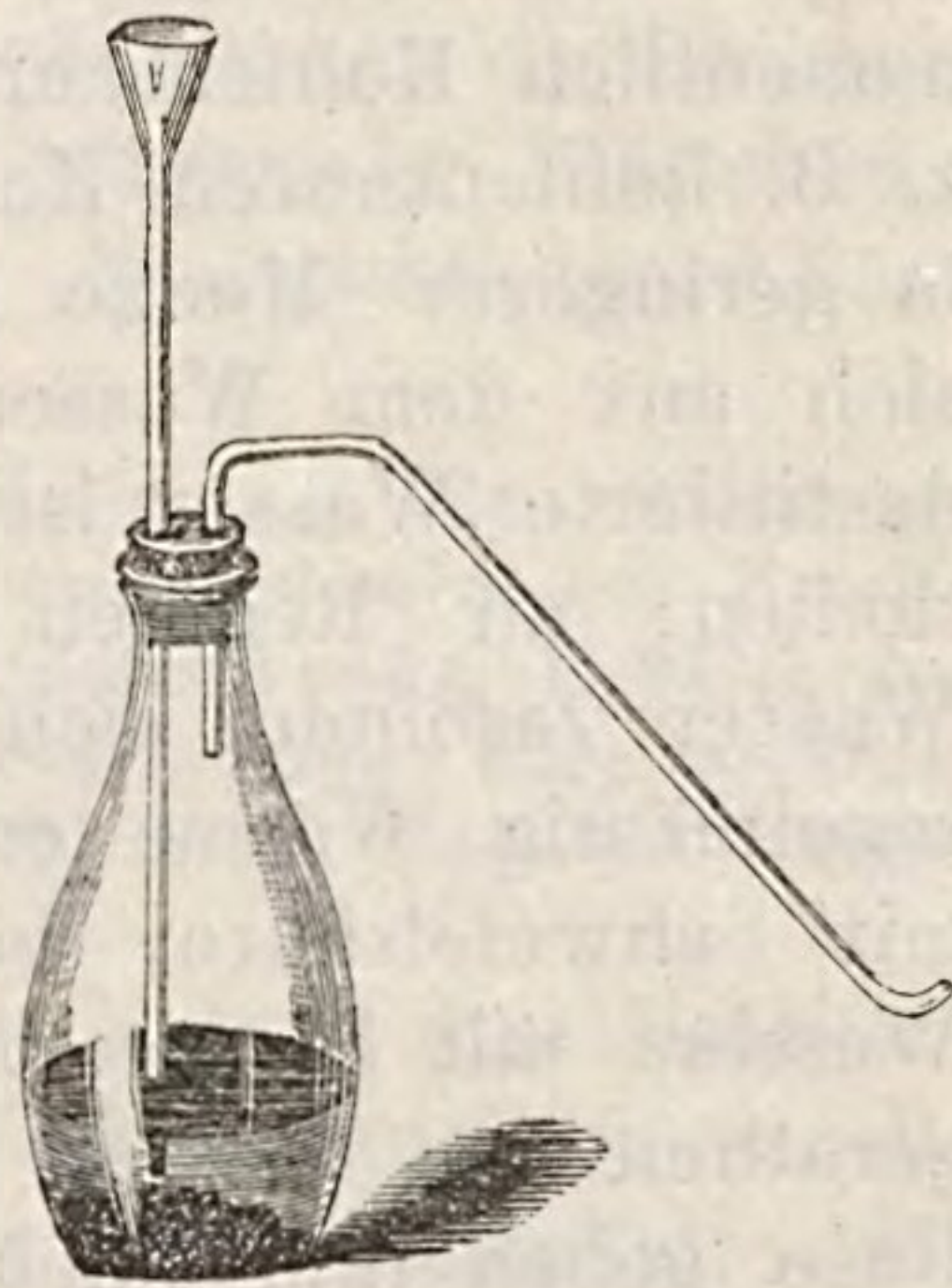
nimmt, liefert die Salpetersäure das von Färbern und Metallarbeitern häufig gebrauchte Scheidewasser.

Salpetersäure färbt Indigo gelb, nicht aber das Berlinerblau; daher dient sie zur Unterscheidung dieser zwei Farben. Sie lässt den Sauerstoff leicht fahren, daher werden Metalle in ihr oxydiert; das Metalloxyd verbindet sich mit einem Theil der Säure zu einem salpetersauren Salze, welches im Wasser der Säure gelöst wird. Den hiebei stattfindenden Vorgang nannte man früher Auflösung; man sagt daher, das Metall sei in der Säure aufgelöst worden. — Eine andere Verbindung des Stickstoffs mit dem Sauerstoffe ist das farblose Stickstoffoxydgas, das aus der Luft rasch Sauerstoff aufnimmt und sich mit diesem zu Untersalpetersäure verbindet, deren rothe Dämpfe auf die Athmungsorgane nachtheilig einwirken. Die letzteren zwei Verbindungen enthalten weniger Sauerstoff als die Salpetersäure.

Die atmosphärische Luft besteht der Hauptsache nach *aus Sauerstoff und Stickstoff*; es sind jedoch diese Stoffe mit einander nicht chemisch verbunden, sondern nur unter einander gemengt. In fünf Maass Luft sind nahezu eine Maass Sauerstoff und vier Maass Stickstoff enthalten; dieses Mengungsverhältniss ist an allen Punkten der Erdoberfläche, in verschiedenen Höhen und Jahreszeiten dasselbe. Nebstdem kommen in der Luft *Wasserdünste* und geringe Mengen von *kohlensaurem* und *Ammoniakgas* vor.

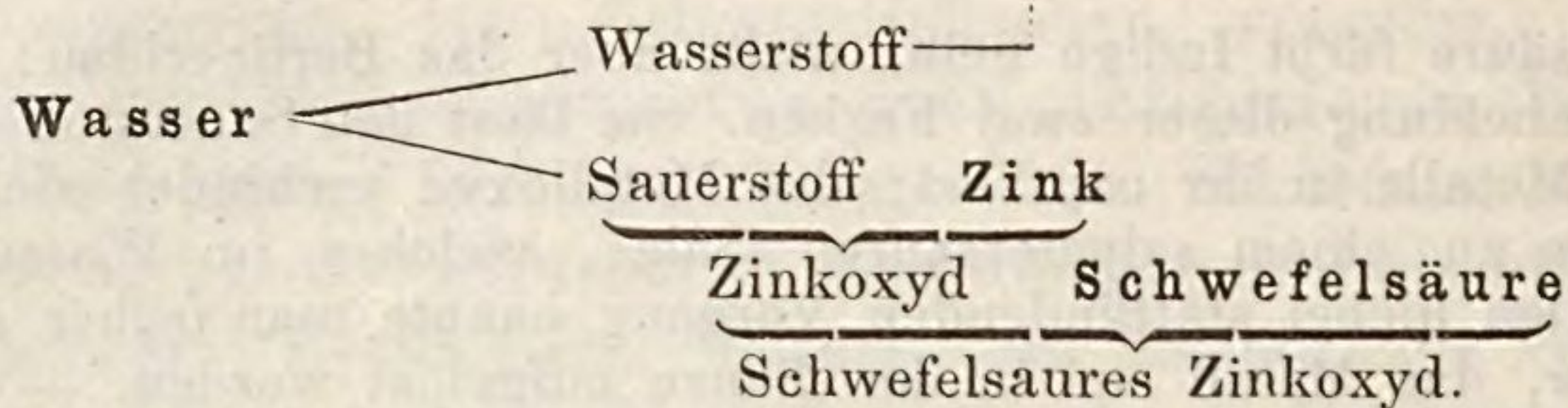
35. Wasserstoff. Versuch. In eine Flasche (Fig. 29) gibt man gekörntes Zink; in den Hals sind zwei Röhren luftdicht befestigt. Durch den Trichter füllt man die Flasche bis zur Hälfte mit Wasser, welchem man etwas Schwefelsäure langsam nachgiesst. Sogleich tritt eine Erwärmung und lebhafte Gasentwicklung ein. Kann man annehmen, dass die in der Flasche befindliche Luft ausgetrieben ist, so fängt man das beim Gasleitungsrohr austretende Wasserstoffgas auf. — Nähert man dem aus einer engen Röhre ausströmenden Gase ein Licht, so entzündet es sich und brennt mit einer schwach leuchtenten Flamme. Hält man über diese Flamme ein entsprechendes Rohr, so dass sie sich im Rohre befindet, so nimmt man einen Ton wahr (chemische Harmonika) und die inneren Röhrenwände werden mit Wassertröpfchen beschlagen. Eine grössere Menge des Gases mit Luft gemischt verbrennt mit einem Knalle; ein Licht erlischt in dem Gase. — Mit Wasserstoff gefüllte Seifenblasen steigen in die Höhe.

Fig. 29.



Der *Wasserstoff* (Hydrogen) ist ein farbloses und (im ganz reinen Zustande) geruchloses Gas, welches weder das Brennen noch das Athmen unterhält, aber selbst brennbar ist. Derselbe ist etwa $14\frac{1}{2}$ mal leichter als die Luft, wesshalb er zum Füllen der Luftballone benützt wird. *Zwei Maass Wasserstoff mit einer Maass Sauerstoff gemengt geben das Knallgas, welches angezündet unter heftigem Knalle verbrennt und Wasser liefert.* Dasselbe geschieht, nur in schwächerem Grade, wenn Wasserstoff in der Luft verbrannt wird,

Der chemische Process bei der Wasserstoffbildung ist folgender:



Die Knallgasflamme gibt eine sehr starke Hitze, so dass Platin geschmolzen werden kann; zur gefahrlosen Benutzung derselben hat man eigene Knallgasgebläse. Die Knallgasflamme auf einen Kalkcylinder geleitet liefert das Drummond'sche Licht. Wasserstoff wird auch bei Döbereiner's Zündmaschine verwendet. Cavendish stellte 1766 den Wasserstoff dar.

Mit Stickstoff verbunden liefert der Wasserstoff das *Ammoniakgas*, welches farblos ist und einen starken stechenden Geruch hat, für Thiere und Menschen tödtlich wirkt. Ammoniak ist eine starke Basis und bildet vom Wasser verschluckt den Salmiakgeist; es bildet sich in Aborten durch Fäulnis der Excremente. Das Ammoniakgas der Luft wird durch das Regenwasser den Pflanzen zugeführt.

36. Das Wasser wurde bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts für einen einfachen Körper gehalten, denn erst um diese Zeit gelang es den Chemikern Cavendish und Lavoisier nachzuweisen, dass dasselbe dem Volumen nach aus zwei Theilen Wasserstoff und einem Theile Sauerstoff bestehe. Das Quell- und Flusswasser ist aber keineswegs chemisch reines Wasser, da es nicht nur verschiedene Gase, namentlich Kohlensäure absorbiert, sondern auch verschiedene Salze, z. B. kohlensauren Kalk, Gyps, Salpeter u. dgl. bald in grösserer, bald in geringerer Menge aufgelöst enthält. Diese festen Stoffe schlagen sich aus dem Wasser nieder, wenn dieses abgedampft wird. Das destillierte Wasser ist daher frei von allen nicht flüchtigen Bestandtheilen; an Reinheit steht ihm das Regenwasser zunächst. Das Wasser verbindet sich sehr gerne mit Säuren und Basen, wobei sich regelmässig Wärme entwickelt; so bei der Vermischung des Wassers mit Schwefelsäure, beim Löschen des Kalkes. Die Verbindung des Wassers mit Säuren oder Basen heissen Hydrate. Organische Stoffe gerathen im Wasser leicht in Fäulnis; die hiebei sich bildenden Gase geben ihm einen unangenehmen Geruch und Geschmack, welcher dem Wasser wieder genommen wird, wenn man es durch Kohle filtriert.

Das Regenwasser nimmt schon in der Luft, besonders aber in der Erde viel Kohlensäure auf, welche sich bei der Verwesung organischer Stoffe entwickelt. Der Kohlensäure verdankt das Quellwasser den erfrischenden Geschmack, so wie auch die Fähigkeit Salze, namentlich kohlensauren Kalk aufzulösen. Entweicht aus dem Wasser die Kohlensäure, z. B. durch Erwärmen, durch Schütteln, so schmeckt es fade und ein Theil des kohlensauren Kalkes schlägt sich nieder. Kesselstein, Tuffstein. — Der im harten Wasser enthaltene kohlensaure Kalk zersetzt die Seife und es bilden sich weisse unlösliche Flocken; im weichen Wasser löst sich dagegen die Seife auf, wesshalb beim Waschen gerne Regenwasser benutzt wird. — Holzgefässe, in welchen Wasser aufbewahrt werden soll, werden inwendig ausgepicht oder verkohlt um die Fäulnis hintanzuhalten.

37. Chlor. Jod. Brom. Das *Chlor* (vom griechischen chloros = gelblichgrün) ist ein gelblich grünes Gas, in welchem ein brennender

Holzspan nur kurze Zeit mit schwacher Flamme fortbrennt. Das Gas ist selbst nicht brennbar; es hat einen sehr unangenehmen stechenden Geruch, erregt, in geringer Menge eingeathmet, Husten und Schnupfen und greift sogar die Lungen an. Das Chlorgas vereinigt sich mit mehreren Metallen unter Lichtentwicklung; so entzündet sich gepulvertes Arsen in demselben schon bei gewöhnlicher Temperatur. Mit dem Metalle Natrium verbunden, gibt Chlor das Kochsalz (von den Chemikern Chlornatrium genannt); mit dem Wasserstoff liefert es das Chlorwasserstoffgas, welches die Eigenschaften einer Säure hat und durch Uebergiessen von Kochsalz mit Schwefelsäure gewonnen wird. Das Chlorwasserstoffgas wird vom Wasser in grosser Menge verschluckt und bildet mit diesem die sogenannte Salzsäure.

Der gebrannte Kalk, welcher aus dem Metalle Calcium und Sauerstoff besteht, verbindet sich beim Kalklösen mit dem Wasser zu Kalkhydrat, welches in Chlor- oder Bleichkalk verwandelt wird, wenn man Chlorgas über dasselbe leitet. Der Bleichkalk wird zum Bleichen und zur Reinigung der Luft von Miasmen verwendet, indem man das Chlor entweder durch die Kohlensäure der Luft oder durch Schwefelsäure austreibt. Das Chlor zerstört nämlich durch Entziehung ihres Wasserstoffes Pflanzenfarben und Miasmen. — Mit Calcium verbunden bildet das Chlor das Chlorcalcium, welches sehr begierig Wasser an sich zieht und desshalb zum Trocknen der Gase benutzt wird. — Da viele Chlormetalle einen salzartigen Character haben, so heisst das Chlor ein Haloid oder Salzbildner und die Chlormetalle werden daher Haloidsalze genannt. — Die Salzsäure liefert mit Salpetersäure das Königswasser, in welchem auch Gold und Platin aufgelöst werden, indem sich diese Metalle mit dem Chlor verbinden. Das Chlor wurde 1774 von Scheele entdeckt.

Das *Jod* (von jodos = violett) ist bei gewöhnlicher Luftwärme fest und bildet dunkelgraue, stark metallisch glänzende Blättchen; erwärmt verwandelt es sich in violette Dämpfe. Es riecht dem Chlor ähnlich und ist sehr giftig.

Das Jod kommt mit Natrium, Magnesium und Kalium in den Pflanzen- und Thierstoffen des Meeres, auch in manchen Quellen vor, und wird bei Kropf- und Scrofelkrankheiten als Medicament angewendet. (Badeschwamm, Leberthran, Quelle zu Hall in Oberösterreich.) Durch Jod wird Stärkemehl blau gefärbt, daher ist dieses ein gutes Erkennungsmittel (Reagens) auf Jod. Das Jod wurde 1812 von Courtois entdeckt.

Das *Brom*, noch seltener als Jod, kommt mit Kalium und Natrium verbunden im Wasser des Meeres und mancher Mineralquellen (z. B. in der Kreuzenacher) vor. Es ist eine dunkelbraune Flüssigkeit von üblem Geruche (bromos = Gestank). Es wurde 1826 von Balard aufgefunden.

38. Phosphor. Schwefel. Kohlenstoff. Der *Phosphor* ist bei gewöhnlicher Temperatur ein weicher, blassgelber Körper, welcher schon bei 44° C. schmilzt und bei 87.5° sich entzündet. Derselbe ist einer der giftigsten Körper (Rattengift) und wird unter Wasser aufbewahrt, weil er an der Luft mit dem Sauerstoff zu phosphoriger Säure sich vereinigt, welche weisse, etwas nach Knoblauch riechende, im Dunkeln leuchtende Dämpfe bildet. Dieses Leuchten im Dunkeln heisst *Phosphorescieren* (Phosphor = Lichtträger) und ist nichts als ein langsames Verbrennen des Phosphors ohne Wärmeentwicklung. Verbrennt Phosphor mit Flamme, so entsteht Phosphorsäure, welche mehr Sauerstoff als die vorige enthält. Die *Phosphorsäure* bildet in Ver-

bindung mit *Calciumoxyd* den *phosphorsauren Kalk*, den Hauptbestandtheil der thierischen Knochen. Aus diesen wird der Phosphor fabrikmässig gewonnen.

Durch die Einwirkung des Sonnenlichtes, auch durch Erhitzen verwandelt sich der Phosphor in den rothen Phosphor, der noch bei 250° fest bleibt und an der Luft sich nicht verändert. Die Pflanzen nehmen phosphorsaure Salze aus dem Boden auf und liefern z. B. in den Körnern des Getreides dem Körper der Menschen und Thiere den nöthigen Phosphor; dieser ist in den Knochen, im Gehirn, in der Nerven- und Muskelsubstanz, in den Eiern, besonders im Fleisch der Fische enthalten. — Den Phosphor stellte zuerst der deutsche Chemiker Brandt 1669 aus Harn dar.

Der *Schwefel* ist ein hellgelber fester Körper, welcher in der Natur theils rein (z. B. in den vulkanischen Gegenden Siciliens), theils in Verbindung mit Metallen (Schwefeleisen, Schwefelkupfer) vorkommt, aber auch im Pflanzen- und thierischen Körper (Samen, Eiweiss, Haare, Horn, Käse) enthalten ist. Der Schwefel schmilzt bei etwa 110° C., wird bei 250° dickflüssig und braun, siedet bei 400° und brennt in der Luft mit bläulicher Flamme. Mit dem Sauerstoffe bildet derselbe verschiedene Verbindungen, worunter die *Schwefelsäure* von besonderer Wichtigkeit ist. Dieselbe enthält mehr Sauerstoff als die schweflige Säure und ist eine weisse, undurchsichtige Masse, welche einen ätzend sauren Geschmack besitzt, schon bei 25° schmilzt, Wasser mit grosser Begierde an sich zieht und mit diesem Schwefelsäurehydrat bildet. Das Schwefelsäurehydrat, gewöhnlich Schwefelsäure auch Vitriolöl genannt, ist im reinen Zustande eine farblose Flüssigkeit und gehört zu den stärksten Säuren.

Die Schwefelsäure wird durch Verbrennen von Schwefel und Salpeter bei Gegenwart von Luft und Wasser erzeugt und in den meisten Industriezweigen verwendet. Kommt Schwefelsäure mit organischen Körpern, welche alle vorwiegend aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, in Berührung so vereinigt sich der Wasserstoff mit dem Sauerstoff zu Wasser und dieses mit der Schwefelsäure, während der Kohlenstoff ausgeschieden und dadurch der Körper geschwärzt wird. Im Handel kommen die englische und die rauchende Schwefelsäure (Nordhäuser Oel) vor. — Die schweflige Säure wird zum Bleichen vegetabilischer Stoffe, z. B. der Wolle, Seide, des Elfenbeins u. s. w. verwendet. — Der Schwefel gibt auch mit Wasserstoff eine Säure, den Schwefelwasserstoff, welcher ein farbloses, zum Athmen untaugliches Gas ist, nach faulen Eiern riecht und mit blassblauer Flamme brennt. Es entsteht bei der Fäulnis schwefelhaltiger organischer Stoffe, insbesondere der Eier und kommt in den sogenannten Schwefelquellen vor, welche ihm den eigenthümlichen Geruch verdanken.

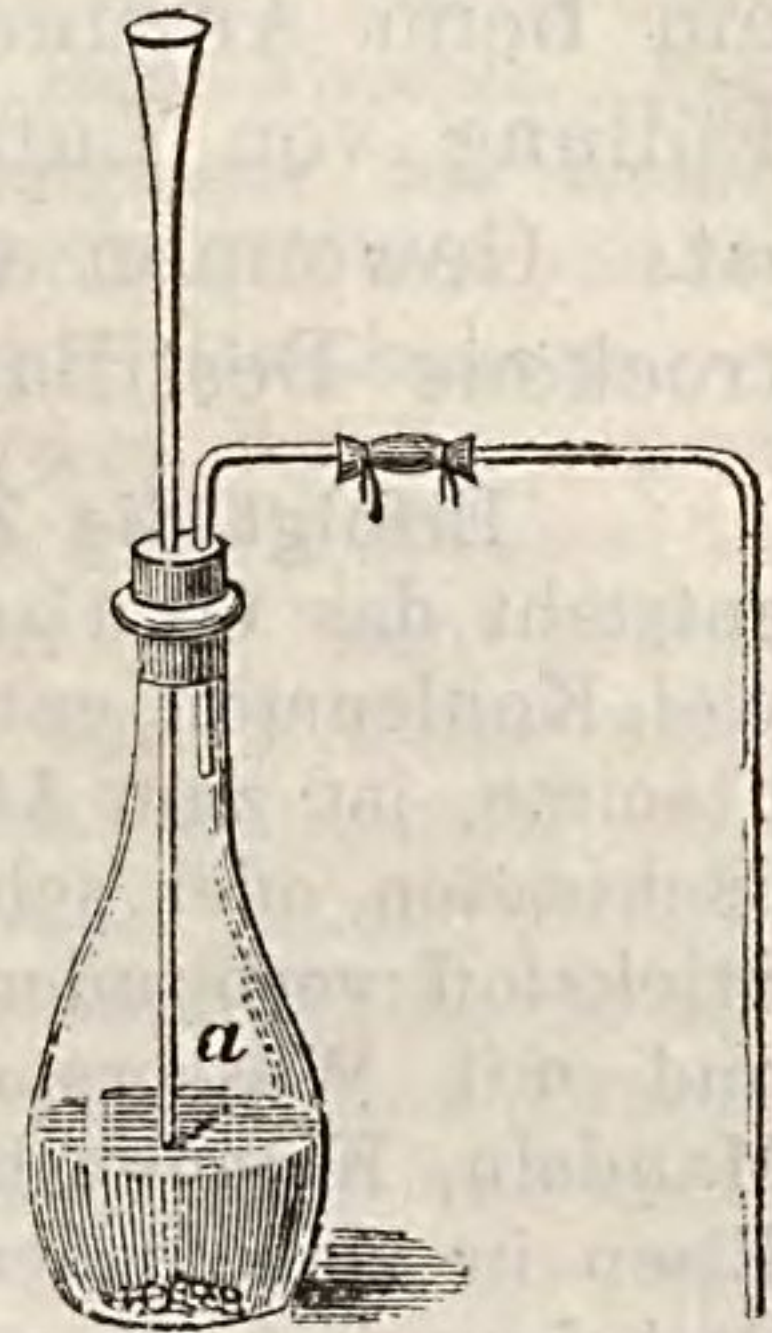
Der *Kohlenstoff* ist fest, geschmack- und geruchlos, brennbar, lässt sich aber weder schmelzen noch vermögen wir ihn aufzulösen. Derselbe bildet einen Hauptbestandtheil des Pflanzen- und Thierkörpers und ist mit anderen Stoffen verbunden auch im Mineralreiche sehr verbreitet. Der Diamant ist reiner Kohlenstoff, ebenso der Graphit und der gut ausgeglühte Lampenruss. Zum Sauerstoff besitzt der Kohlenstoff eine so kräftige Verwandtschaft, dass er bei entsprechender Hitze den Metalloxyden den Sauerstoff entzieht, d. h. sie desoxydiert oder reducirt.

Der Kohlenstoff wird als schwarze Farbe (Kienruss, Tusch) und zur Reduction der Metalle benützt. Aus Graphit werden Bleistifte und Schmelztiegel gemacht.

39. Verbindungen des Kohlenstoffs. Versuch *a*). Bringe in eine zweihalsige Flasche *a* (Fig. 30) Kreide oder Marmor, giesse verdünnte Schwefelsäure nach. Das aus dem Leitungsrohr entweichende Gas heisst Kohlensäure.

Die *Kohlensäure* ist eine gasförmige Verbindung des Kohlenstoffes mit dem Sauerstoffe, farblos, erzeugt ein Prickeln in der Nase, röthet feuchtes, blaues Lackmuspapier, brennt nicht und unterhält weder das Brennen noch das Athmen. Das kohlensaure Gas wird bei gehörigem Drucke und hinreichender Abkühlung nicht nur tropfbar, sondern sogar fest. Weil es etwa $1\frac{1}{2}$ mal dichter als die Luft ist, so kann es aus einem Gefässe in ein anderes übergefüllt und in einem offenen Gefässe aufgefangen werden; mit der Zeit entweicht es aber, indem es sich mit der Luft mengt. Eine Maass Wasser vermag eine Maass Kohlensäure zu absorbieren; jenes erhält durch diese oft einen säuerlichen Geschmack, wie z. B. in den Sauerlingen.

Fig. 30.



Ein sehr gutes Prüfungsmittel auf Kohlensäure ist das Kalkwasser, d. i. Wasser, in welchem gelöschter Kalk aufgelöst ist. Leitet man in das Kalkwasser Kohlensäure, so verbindet sie sich mit jenem zu kohlensaurem Kalk, welcher im Wasser unlöslich ist und daher dasselbe trübt. Die Kohlensäure kommt nicht nur in der Atmosphäre sondern auch sehr häufig im Mineralreiche vor, z. B. im Kalkstein, Marmor, aus welchen Mineralien sie durch Hitze ausgetrieben werden kann. (Kalkbrennen.) Dieses Gas strömt auch an manchen Orten aus der Erde hervor (Hundsgrotte in Neapel, Franzensbad), wo sie sich namentlich am Boden ansammelt, so dass kleine Thiere ersticken, während der aufrecht stehende Mensch keinen Schaden leidet. Auch in Bergwerken, tiefen Brunnen, Kellern, insbesondere wenn in diesen viele gährende Getränke vorhanden sind, häuft sich Kohlensäure an. 1 bis 2 Procent Kohlensäure der Luft beige-mengt erregt schon Übelbefinden; übrigens wirkt sie nicht giftig auf die Organe ein. Das Einathmen von Ammoniak wirkt gegen das kohlensaure Gas.

Gibt man in eine Zuckerlösung etwas Hefe (Ferment), so zerlegt sich der Zucker, welcher aus Kohlen-, Wasser- und Sauerstoff besteht, bei einer mässigen Temperatur (10° — 25° C.) und unter Zutritt der atmosphärischen Luft in Alkohol und in Kohlensäure; jener lässt sich in der Flüssigkeit durch den Geschmack erkennen, diese in einem Cylinder auffangen. Diesen Zersetzungs Vorgang der Zuckerlösung nennt man geistige Gährung, zu deren Einleitung ein bereits in Zersetzung begriffener Stoff d. i. ein Ferment nothwendig ist. Bei der Gährung des Weines, des Bieres und Brantweines findet dasselbe statt, nur wird bei den letzteren das in der Gerste, im Korn und den Kartoffeln enthaltene Stärkemehl erst in Zucker verwandelt. Auch beim Backen des Brodes tritt eine geistige Gährung ein, dieselbe wird jedoch durch die Hitze des Backofens unterbrochen; die dabei entwickelte Kohlensäure lockert den Teig. Bei entsprechender Temperatur (28° — 35°) geht die geistige Gährung in die saure über, wobei der Alkohol, indem er aus der Luft Sauerstoff aufnimmt, in Essigsäure und Wasser umgesetzt wird. — Beim Sauerwerden der Milch verwandelt sich der Milchzucker in Milchsäure. — Verbrennen Kohlen bei schwachem Luftzutritte, so sieht man kleine blaue Flämmchen, welche von Kohlenoxydgas herrühren. Dieses Gas enthält nur halb so viel Sauerstoff als die Kohlensäure, ist farb- und geruchlos, brennt und verwandelt sich hiebei in Kohlensäure, wirkt tödtlich auf Menschen und Thiere und ist desshalb die Ursache von vielen Erstickungsfällen.

Versuch *b*). Fülle ein Glaskölbchen zur Hälfte mit zerstoßener Steinkohle, befestige in die Oeffnung mittelst eines Korkes ein kurzes,

in eine Spitze ausgezogenes Glasrohr und erhitze die Kohle. Die Kohle wird zersetzt und es entwickelt sich Leuchtgas.

Das *Leuchtgas* besteht aus Kohlenstoff und Wasserstoff, ist farblos, hat einen eigenthümlich unangenehmen Geruch, wirkt giftig, brennt, wenn es angezündet wird, mit hellleuchtender Flamme, gibt mit Luft ein beim Anzünden heftig explodierendes Gasgemenge. Es kann zur Füllung von Luftballonen gebraucht werden, da es leichter als Luft ist. Gewonnen wird das Leuchtgas aus Kohlen, Harzen, Fetten durch trockene Destillation.

Erfolgt die Zersetzung von Pflanzenstoffen bei niedriger Temperatur, so entsteht das Grubengas, welches bei gleicher Wasserstoffmenge nur halb so viel Kohlenstoff enthält als das Leuchtgas. Dasselbe ist farblos, brennt mit gelber Flamme, ist zum Athmen nicht geeignet, explodiert mit Luft vermisch sehr heftig. (Schwaden oder schlagende Wetter in Kohlengruben.) — Kohlenstoff gibt mit Stickstoff verbunden das Cyan, welches sich dem Chlor sehr ähnlich verhält, und mit Wasserstoff vereinigt die äusserst giftige Blausäure liefert. Bittere Mandeln, Kirschlorbeerwasser. — Der Kohlenstoff verbindet sich auch mit dem Eisen in verschiedenen Verhältnissen und verändert letzteres in auffälliger Weise. Stabeisen hat am wenigsten, der Stahl 1 bis 2 Procent, das Guss- oder Roheisen 3 bis 5 Procent Kohlenstoff.

40. Der Verbrennungsprocess. Was man im gewöhnlichen Leben Verbrennung nennt, ist bekanntlich nichts anderes als die Verbindung eines Stoffes mit dem Sauerstoffe, bei welcher Licht und Wärme entwickelt werden. Jener Stoff, welcher das Brennen unterhält heisst *Zündstoff*; der andere, welcher verbrennt, wird *Brennstoff* genannt. Bei den gewöhnlichen Verbrennungen ist der Sauerstoff der Luft der Zündstoff, während Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel die Brennstoffe sind. Die gewöhnlichen Brennmaterialien, Holz, Torf, Steinkohlen, Oel, Unschlitt u. s. w. erleiden unter dem Einflusse der Wärme eine chemische Zersetzung, wobei ihr Kohlenstoff theils mit dem Sauerstoffe (z. B. zu Kohlenoxydgas) theils mit dem Wasserstoffe (z. B. zu Leuchtgas) zu brennbaren Gasen sich verbindet. Die Verbrennung des Kohlenstoffes erzeugt Kohlensäure, die des Wasserstoffes aber Wasserdampf. Um also einen Körper zu verbrennen, muss ihm Sauerstoff in hinreichender Menge zugeführt werden. Dies geschieht, indem man durch Schornsteine, Röste, Gebläse einen starken Luftzug bewirkt, durch welchen insbesondere auch die Verbrennungsproducte entfernt werden, welche sonst das Brennmaterial umhüllen, und den Zutritt des Sauerstoffes verhindern würden. Damit jedoch der Sauerstoff mit dem Brennstoffe sich verbinde, ist immer eine entsprechende Temperatur, oft Weissglühhitze erforderlich. Der Verbrennungsprocess muss daher in der Regel durch das Anzünden eingeleitet werden, welches eben den Zweck hat, dem Brennstoffe die zum Entzünden nothwendige Wärme mitzutheilen. Ist dieses geschehen, so theilen die brennenden Theile den benachbarten regelmässig die Entzündungstemperatur mit.

Das Feuer wird dem Gesagten zufolge gelöscht werden:

1. Wenn der Zutritt der atmosphärischen Luft, beziehungsweise ihres Sauerstoffes zum Brennstoffe verhindert wird, also auch wenn die Verbrennungsproducte nicht entweichen können.

2. Wenn dem Brennstoffe die zu seiner Verbrennung nöthige Wärme entzogen wird.

Bei gehindertem Luftzutritte geht die Verbrennung nur unvollkommen vor sich; die Zersetzungsproducte (Creosot, Theer, brenzliche Oele, Wasserdünste) des Brennmaterials steigen als Rauch in die Höhe, reissen dabei einen Theil des unverbrannten Kohlenstoffes im verkleinerten Zustande mit fort (daher die Schwärze des Rauches), welcher als Russ an kalte Körper sich absetzt. Ein grosser Theil des Kohlenstoffes bleibt zumeist am Verbrennungsorte als Kohle zurück. Auf einer solchen unvollkommenen Verbrennung beruht das Verkohlen des Holzes, der Knochen, das Verkohksen des Torfes und der Steinkohlen. — Jede Gewichtseinheit des Brennstoffes braucht zum Verbrennen immer dieselbe Sauerstoffmenge und liefert auch stets dieselbe Wärmemenge, mag die Verbrennung schnell oder langsam vor sich gehen. Die in einer gewissen Zeit entwickelte Temperatur wird aber um so höher sein, je mehr Brennstoff in dieser Zeit verbrennt, also auch je mehr Sauerstoff verbraucht wird. Um eine grosse Hitze zu erzeugen, wendet man solche Brennmaterialien an, welche viel Kohlenstoff enthalten (Steinkohlen statt Holz), bringt hohe Schornsteine an, weil diese den Luftzug begünstigen, leitet in den Brennraum verdichtete und erwärmte Luft, denn jene enthält mehr Sauerstoff und diese entzieht dem Brennstoffe weniger Wärme als die kalte Luft. Ein Theil der entwickelten Wärme geht verloren theils zur Verdampfung des etwa im Brennstoffe enthaltenen Wassers (feuchtes Holz brennt schlecht und gibt wenig Wärme), theils zur Zersetzung des Brennmaterials, zur Erwärmung der Verbrennungsproducte und der unbenützten Bestandtheile der zugeführten Luft; auch das Materiale der Feuerstelle entzieht einen Theil der Wärme.

Feuer wird mit Wasser gelöscht, weil dieses den Zutritt der Luft hindert, zugleich aber verdampft und dadurch den Brennstoff unter die Entzündungstemperatur abkühlt. Wenig Wasser ins Feuer gespritzt befördert das Brennen, weil es zersetzt wird, wobei der Sauerstoff mit dem Brennstoffe sich verbindet, der Wasserstoff aber selbst verbrennt. Brennende Fette lassen sich mit Wasser nicht löschen, weil dieses untersinkt, also den Luftzutritt nicht hemmt, und sich dazu noch in Dampf verwandelt, welcher durch seine Spannkraft das Fett empor schleudert. Das Bedecken mit Asche, Erde u. s. w. ist ein gutes Löschungsmittel. Brennender Russ wird durch Verschliessen des Schornsteins, durch Verbrennen von Schwefel gelöscht. — Wird ein engmaschiges Gitter aus sehr feinem Drahte quer in eine Flamme gehalten, so brennt die Flamme nicht über das Gitter hinaus, weil dasselbe den aufsteigenden Gasen so viel Wärme entzieht, dass sie nicht fortbrennen können. Hierauf beruht Davy's Sicherheitslampe (Fig. 31), welche eine gewöhnliche mit einem feinen Drahtgitter *D* umgebene Grubenlampe *A* ist. Dringt Grubengas in die Lampe, so entzündet es sich; die Flamme kann sich aber nicht nach aussen fortpflanzen, wesshalb eine Gasexplosion vermieden wird.

Bei einer Kerzenflamme lassen sich genau drei Theile unterscheiden. Der innerste Theil *a* (Fig. 32) ist dunkel und besteht aus den gasförmigen Zersetzungsproducten des Leuchtmaterials, welche wegen des geringen Luftzutrittes unverbrannt emporsteigen und deren Wasserstoff im hellleuchtenden Theile *b* verbrennt, während ihr Kohlenstoff wegen des noch immer unvollkommenen Luftzutrittes nur in's Glühen geräth. Dieses Glühen des Kohlenstoffes ist die Ursache, wesshalb die Wasserstoffflamme in *b* eine so grosse Leuchtkraft besitzt. In der schwach leuchtenden äussersten Hülle verbrennt der Kohlenstoff vollständig zu Kohlensäure, weil er hier mit dem Sauerstoffe der Luft in unmittelbarer Berührung steht. Die bläuliche Farbe des untersten Saumes rührt von Kohlenoxydgas her. Ist der Docht der

Fig. 31.

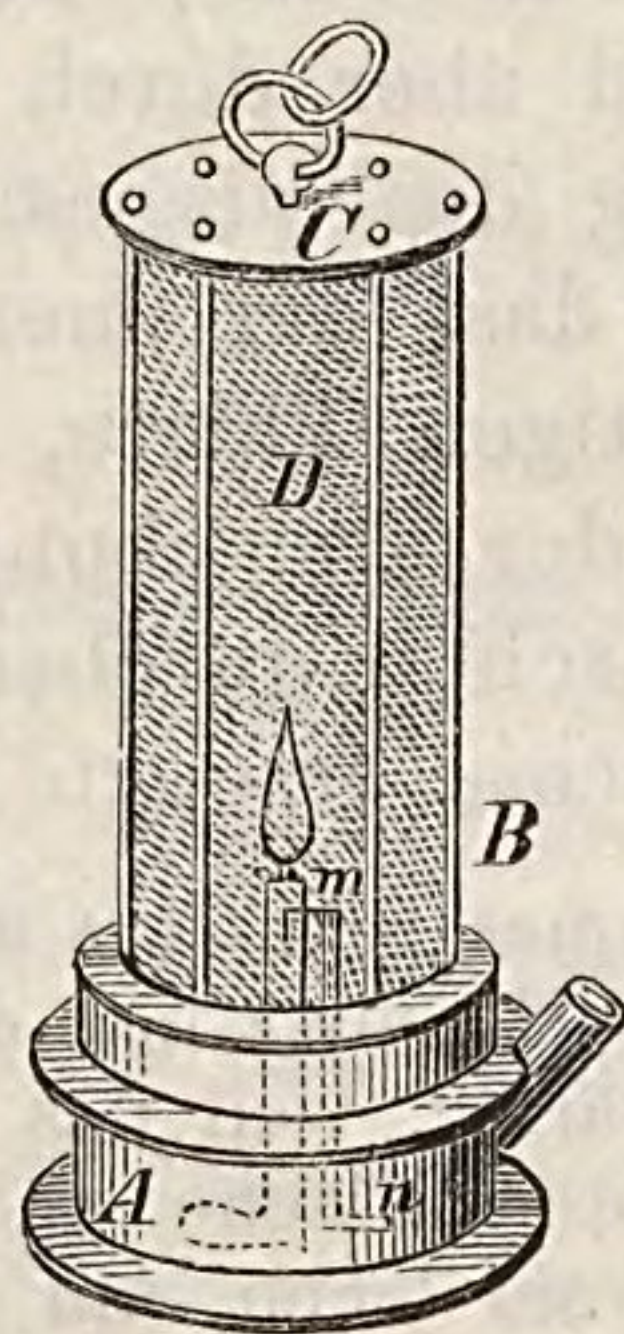
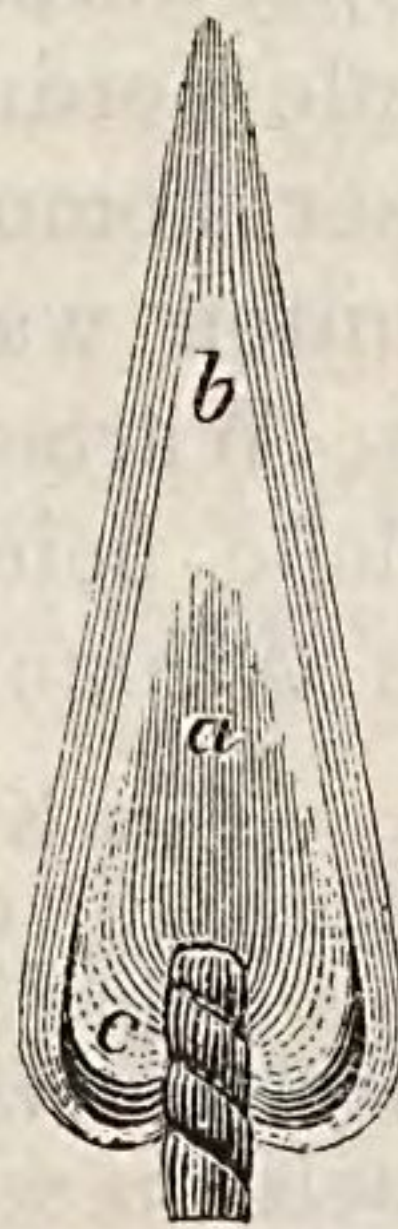


Fig. 32.



Kerze hohl, (Argand'sche Kerze und Lampe), so kann Luft auch in's Innere der Flamme dringen, wodurch schon in *a* das Verbrennen des Wasser- und das Erglühen des Kohlenstoffes und somit ein helleres Leuchten der Flamme bewirkt wird. Die auf Lampen aufgesetzten cylindrischen Gläser befördern den Luftzug und vermindern daher das Rauchen. Bei sehr starkem Luftzug verbrennt der Kohlenstoff oft schon in *b* vollständig; dann besitzt die Flamme zwar eine grössere Hitze aber eine schwächere Leuchtkraft (Löthrohr). — Feste Körper z. B. ein dünner Platindraht, Kalk erhöhen durch ihr Erglühen die Leuchtkraft (Davy's Glühlampe) der Flamme, wobei diese oft die Farbe ändert. Die Weingeistflamme wird z. B. durch Kochsalz gelb, durch Chlorkupfer grün, durch Chlorlithium roth gefärbt.

41. Der Athmungsprocess. Versuch. Athmet man durch eine Glasröhre in Kalkwasser, so wird dieses getrübt; haucht man gegen eine Glasplatte, so läuft dieselbe an.

Der Sauerstoff der eingeathmeten Luft tritt durch die feinen Zellenwände der Lunge in das dunkelblaue Venenblut, der grösste Theil desselben verbindet sich mit dem im Blute enthaltenen Kohlenstoffe zu Kohlensäure und färbt das Venenblut wieder roth. Ein anderer Theil des durch die Lunge und durch die Haut eingetretenen Sauerstoffes vereinigt sich mit dem Wasserstoffe des Blutes und anderer Bestandtheile des Thierkörpers zu Wasser. Während der mit der Luft eingeathmete Stickstoff nahezu vollständig wieder ausgeathmet wird, *scheiden Thiere und Menschen statt des Sauerstoffes Kohlensäure und Wasser aus*, wovon erstere fast ausschliesslich durch die Lunge, letzteres theils durch die Lunge, theils als Schweiss durch die Haut, theils im Urin den Körper verlässt. In Folge des Athmungsprocesses entstehen sonach im Wesentlichen dieselben Producte im Thierkörper, welche bei der Verbrennung sich bilden; hier wie dort verbrennt Kohlenstoff zu Kohlensäure und Wasserstoff zu Wasser. Jede solche Verbrennung erzeugt Wärme, folglich ist *der Athmungsprocess* Thieren und Menschen *eine* von der Umgebung unabhängige *Wärmequelle*. Je mehr Sauerstoff eingeathmet wird, desto mehr Kohlen- und Wasserstoff werden verbrennen, also (Vgl. §. 40) desto mehr Wärme wird sich entwickeln; die Wärmeentwicklung im thierischen Körper steigert sich also mit der Anzahl der Athemzüge (beim Arbeiten, Gehen). Die übermässige Steigerung der Körperwärme wird aber durch die an der Haut ununterbrochen stattfindende Verdunstung des ausgeschiedenen Wassers gehindert (Vgl. §. 26), daher kommt es, dass der menschliche, sowie der Körper der sogenannten warmblütigen Thiere, welche durch Lungen athmen, eine von dem Wärmegrad der Umgebung ganz unabhängige Temperatur besitzt, welche beim Menschen durchschnittlich $37\frac{1}{2}^{\circ}$ C. beträgt. Diese durch den Athmungsprocess erzeugte Wärme heisst thierische Wärme.

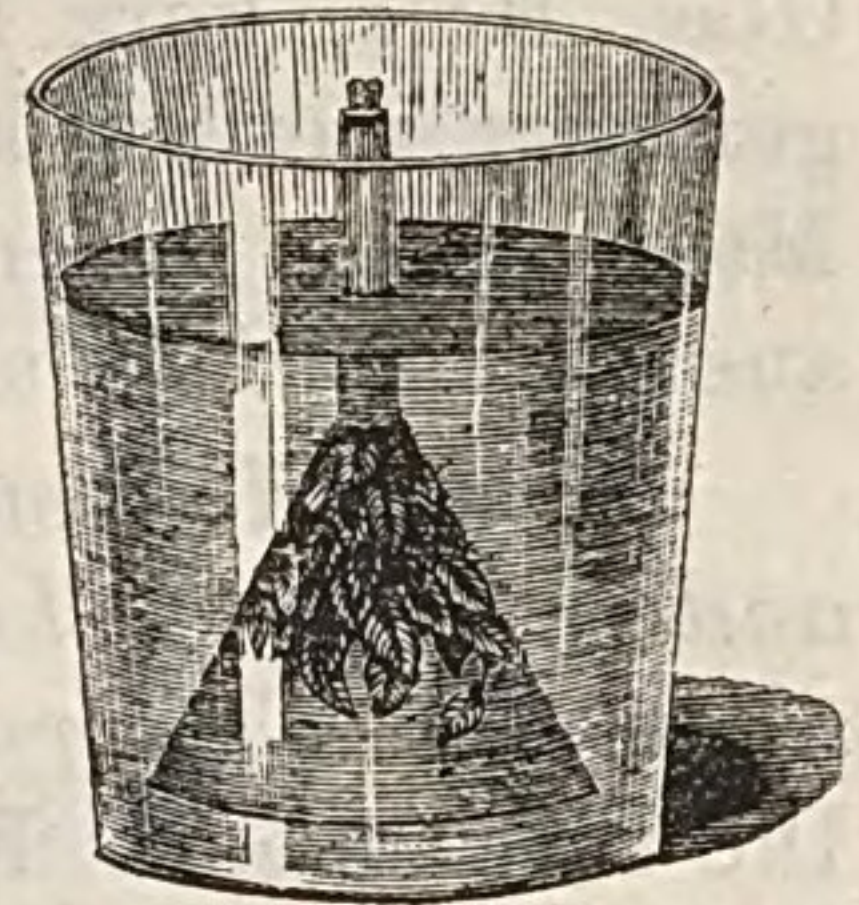
Ein Kind athmet schneller als ein Erwachsener, seine Eigenwärme beträgt deshalb 39° C.; die Eigenwärme eines Vogels ist 40° bis 41° . Nägel, Haare haben keine Eigenwärme, weil das rothe arterielle Blut nicht dahin dringt. — Die Körperwärme der Fische und Amphibien übersteigt die Temperatur des Mittels, in welchem sie leben, um $1\frac{8}{10}^{\circ}$ bis $2\frac{1}{2}^{\circ}$ C.

Der durch das Athmen verbrauchte Kohlen- und Wasserstoff müssen dem Körper durch die Nahrung wieder ersetzt werden. Die Menge der erforderlichen Nahrung hängt im allgemeinen ab: *a*) von der Anzahl der in einer bestimmten Zeit gemachten Athemzüge, *b*) von der Temperatur der eingeathmeten Luft, weil die kältere also dichtere Luft mehr Sauerstoff enthält, *c*) von der

Wärmemenge, welche dem Körper von der Umgebung entzogen wird. Ein Kind braucht öfter und verhältnissmässig mehr Nahrung als ein Erwachsener; ein Vogel verhungert eher als eine Schlange oder Kröte; Sprechen, Singen, Bewegung im Freien erregen Appetit. Wir essen im Winter mehr als im Sommer, der Lappländer isst mehr als der Südländer; die Raubthiere des Nordens sind gefrüssiger als jene des Südens. Jene Speisen, z. B. Fett, geistige Getränke, Stärkemehl, welche vorwiegend Kohlen- und Wasserstoff enthalten, tragen nur zur Wärmeerzeugung bei; sie heissen daher erwärmende Nahrungsmittel. Zur Bildung von Blut, Muskelfasern u. s. w. sind stickstoffhaltige Nahrungsmittel erforderlich. Zu den blutbildenden Nahrungsmitteln gehören Fleisch, Eier, Käse, Milch, die mehltreichen Samen der Getreidearten und Hülsenfrüchte, die jungen Stengel und Blätter der Pflanzen. Der Zusatz von Kochsalz zu den Speisen begünstigt durch Vermehrung des Nahrungssaftes die Verdauung und ist auch für die Knorpelbildung nothwendig.

Versuch. Ein frischer beblätterter Zweig werde in einen verkorkten, mit Kohlensäure gefüllten Trichter (Fig. 33) gebracht und dem Sonnenlichte ausgesetzt. Nach einiger Zeit ist die Kohlensäure verschwunden und Sauerstoff an ihre Stelle getreten.

Fig. 33.



Die Pflanzen nehmen Kohlensäure theils mit den Blättern unmittelbar aus der Atmosphäre auf, theils durch die feinen Wurzelfasern mit dem aufgesogenen Wasser dem Boden. Die Kohlensäure wird unter dem Einflusse des Sonnenlichtes zersetzt; der Kohlenstoff bleibt zurück und baut den Pflanzenkörper auf, der Sauerstoff wird durch die Blätter abgeschieden. Mit dem Wasser erhält die Pflanze zugleich das aus der Luft oder von den im Boden faulenden organischen Stoffen herrührende Ammoniak und mit diesem den Stickstoff. Die Wurzeln führen den Pflanzen auch die im Boden gelösten Salze (z. B. phosphorsauren Kalk) und Erden, unter andern auch die Kieselsäure zu, welcher die Halme der Gräser und Getreidearten ihre Festigkeit verdanken. Das Thier- und Pflanzenleben sind also wesentlich von einander verschieden; beide stehen aber in inniger Wechselbeziehung. Die Thiere erhalten ihre Nahrung zunächst aus der Pflanzenwelt, jene geben dieser dafür Kohlensäure und Dünger zurück. Das Pflanzenleben ist auch die Ursache, dass die durch den Athmungsprocess der Thiere, durch die Verwesung und Verbrennung erzeugte Kohlensäure in der Atmosphäre nie überhand nehmen und nie ein Sauerstoffmangel eintreten kann.

V. VON DEM MAGNETISMUS.

42. Magnetische und paramagnetische Körper. Schon die alten Griechen und Römer kannten *Körper*, gewisse Eisenerze nämlich, welche die *Eigenschaft besitzen*, kleine *Eisenstücke aus der Ferne anzuziehen und mit einer bestimmten Kraft festzuhalten*. Nach der Stadt Magnesia in Kleinasien, einem Fundorte solcher Erze, nannte man diese Körper *Magnete*. Die Erscheinungen, welche an Magneten wahrgenommen werden, hat man daher magnetische und ihre Ursache *Magnetismus* genannt. Bei späteren Untersuchungen ergab sich, dass nebst dem Eisen auch das Metall Nickel und im schwächeren Grade auch Kobalt, Chrom und Mangan von einem Magnete angezogen werden. Ferner fand man, wie wir auch später sehen werden, dass

dem Eisen die Eigenschaft des Magnets auf künstlichem Wege ertheilt werden könne. Man unterscheidet desshalb zwischen *natürlichen* und *künstlichen Magneten*. *Körper, welche vom Magnet angezogen werden, ohne aber von Natur aus im Stande zu sein, andere Körper an sich zu ziehen, heissen paramagnetisch.*

Weil die künstlichen Magnete von den natürlichen in der Wirkung nicht verschieden sind, und weil sich jene in beliebigen Formen darstellen lassen (am gewöhnlichsten erhalten sie die Stab- oder Hufeisenform), so werden wir uns zur Ermittlung der magnetischen Erscheinungen der künstlichen Magnete bedienen.

Versuch a). Ein Eisenstäbchen hänge an einen Coconfaden. Nähert man dem Eisen einen Magnet mehr und mehr, so wird jenes immer stärker angezogen, endlich bis zum Magnet hinbewegt und von diesem festgehalten. Dasselbe tritt ein, wenn ein Schirm aus Papier Glas, Holz, kurz aus einem Stoffe, welcher selbst nicht magnetisch gemacht werden kann, inzwischen geschoben wird, wofern dadurch der Magnet vom Eisen nicht zu sehr entfernt wird. Eine Zwischenwand aus Eisen wirkt auf die magnetische Anziehung schwächend ein.

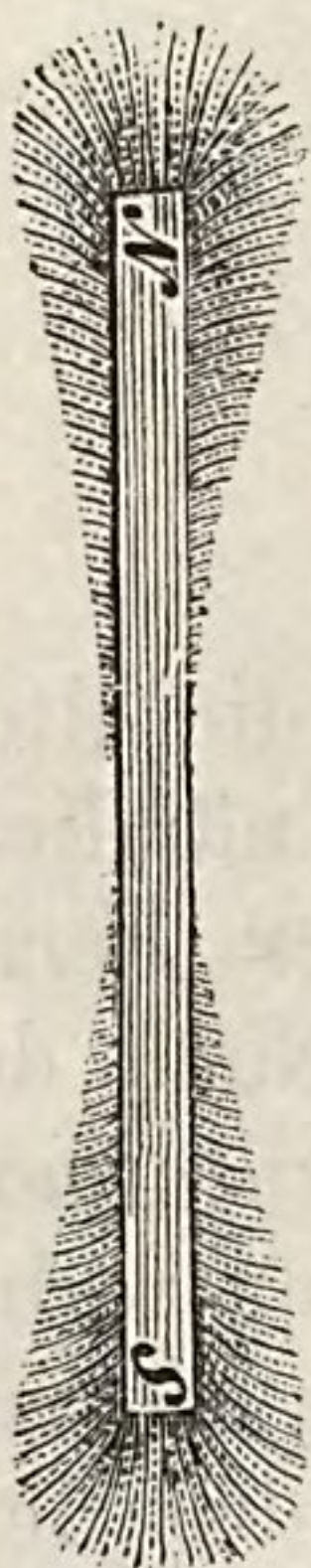
Der Magnetismus ist wie die Schwere eine in die Ferne durch andere Körper hindurch wirkende Kraft, deren Stärke abnimmt, wenn die Entfernung der auf einander wirkenden Körper wächst. Die magnetische Kraft wird $2 \times 2 = 4$ mal, $3 \times 3 = 9$ mal u. s. w. kleiner, wenn die Entfernung 2, 3, u. s. w. mal grösser wird.

Versuch b). Hänge an den Coconfaden ein Magnetstäbchen und nähere ihm einen Eisenstab, jenes wird von diesem angezogen.

Die Anziehung zwischen einem Magnet und einem paramagnetischen Stoffe ist eine wechselseitige.

Lege auf Papier oder Glas einige Eisenstäbchen und halte darunter einen kräftigen Magnet; jene folgen den Bewegungen des letzteren. — Mittelst eines Magnets lässt sich Eisenfeilicht von Messingfeilicht u. dgl. scheiden.

Fig. 34.



43. Magnetpole und ihre Wechselwirkung. Versuch a). Bestreut man einen Magnetstab mit Eisenfeilicht, so bleibt dasselbe an zwei Stellen, welche gegen die Enden zu liegen, vorzugsweise hängen (Fig. 34), während in der Mitte des Stabes nichts anhaftet.

Versuch b). Neben einem am Coconfaden hängenden Eisenkügelchen führe man in stets gleicher Entfernung einen Magnetstab von einem Ende zum andern vorbei. Der Faden wird am stärksten aus der Vertikalen abgelenkt, wenn die Stabenden dem Kügelchen gegenüber stehen, er ist vertical, wenn jenes der Mitte des Stabes gegenüber liegt.

Ein Magnet hat demnach nicht an allen Stellen dieselbe Stärke, sondern besitzt zwei Punkte, wo der Magnetismus sich am kräftigsten äussert; diese Punkte nennt man Pole und die sie verbindende Grade die magnetische Axe des Magnets. Die Stelle, wo der Magnet keine Anziehung ausübt, heisst indifferent. Bei stabförmigen Magneten liegen die Pole

gewöhnlich nahe an den Enden, die indifferente Stelle ohngefähr in der Mitte.

Versuch c). Man stecke einen Magnetstab in eine Hülse, welche mittelst eines ungedrehten Seidenfadens aufgehängt ist, oder lasse ihn mittelst eines Korkes auf Wasser schwimmen, oder unterstütze ihn, wie es bei Magnetnadeln geschieht, mit einer verticalen Axe, welche durch den Schwerpunkt des Stabes geht. Man findet dass der Stab nur in Ruhe bleibt, wenn ein und derselbe Pol gegen Norden zu weist, der andere gegen Süden gerichtet ist.

Die Pole eines Magnets sind verschieden von einander; denn *der eine Pol eines frei beweglichen Magnets weist stets gegen Norden, der andere gegen Süden*. Jener heisst daher der *Nord-* dieser der *Südpol*.

(Fig. 35) stellt eine Magnetnadel, $a\ b$ im Durchschnitt, $a'\ b'$ im Grundriss vor; in der Mitte ist ein Achathütchen angebracht, mit welchem die Nadel auf einer Stahlspitze cd aufruht. Die Hälfte, auf welcher der Nordpol liegt, ist gewöhnlich blau angelassen. Bei Stäben ist der Nordpol mit N , der Südpol mit S bezeichnet.

Versuch d). Nähere dem Nordpol der Magnetnadel abwechselnd den Süd- und Nordpol eines Magnets; man nimmt beziehungsweise Anziehung und Abstossung wahr. Versuche dasselbe mit dem Südpol der Nadel.

Ungleichnamige Magnetpole ziehen einander an, gleichnamige stossen einander ab. Ein solches gegensätzliches Verhalten bezeichnet man mit dem Namen *Polarität*.

Nach diesem Gesetze lässt sich bestimmen, ob ein Körper magnetisch ist oder nicht, ob ein Pol ein Nord- oder Südpol ist. Die Anziehung ist dabei nicht entscheidend; denn vom unmagnetischen Eisen werden beide Pole angezogen.

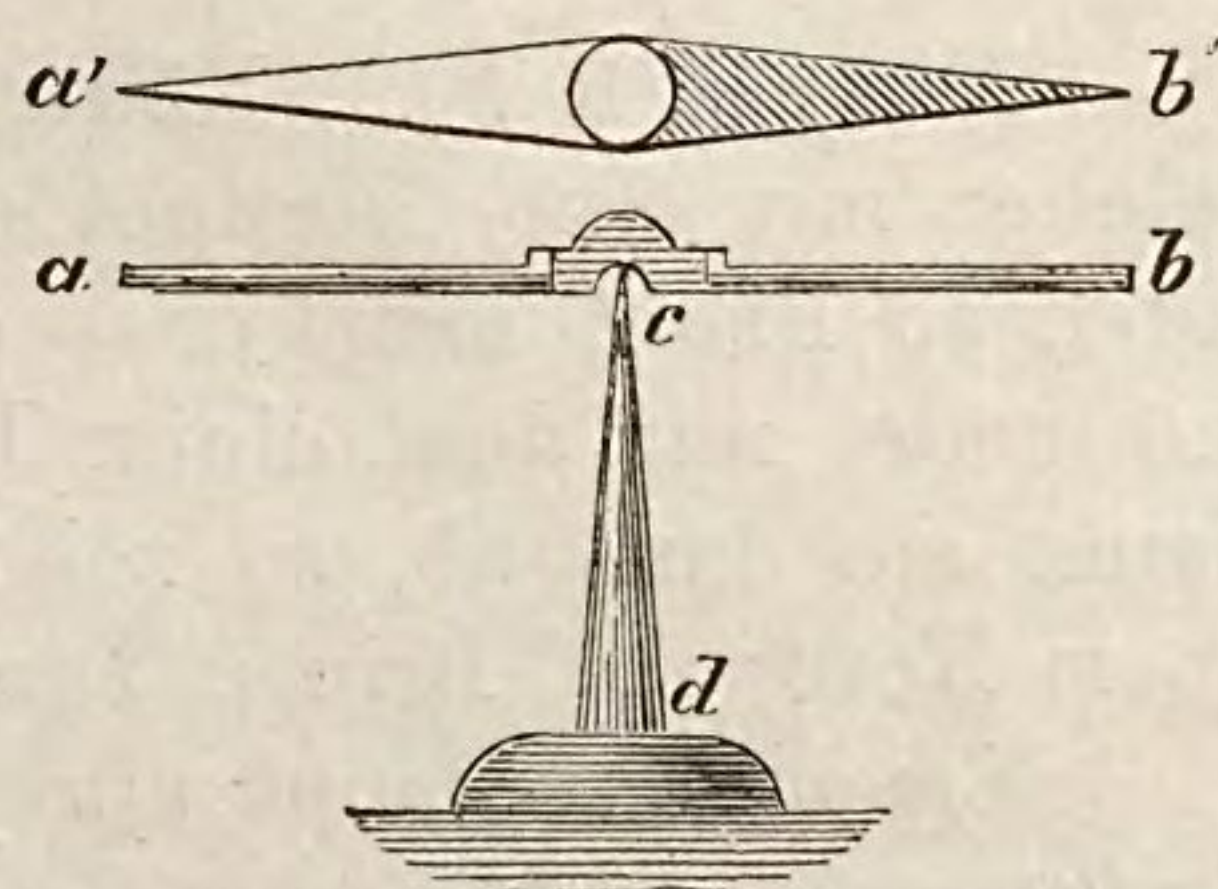
Der Gegensatz der Magnetpole wird auch ersichtlich durch folgenden

Versuch e). Legt man zwei gleichnamige Pole übereinander, so vermögen sie zusammen mehr zu tragen als jeder einzelne, auch wirken sie vereinigt kräftiger auf die Magnetnadel als einzeln. — Am Nordpol eines Magnets hänge ein Eisenstück, welches er eben noch zu tragen vermag. Das Eisenstück fällt herab, wenn man den Südpol eines gleich starken Magnets auf den Nordpol legt.

Die entgegengesetzten Wirkungen der Magnetpole veranlassen zu der Annahme, dass es *in jedem Magnete zweierlei Magnetismen, nördlichen und südlichen Magnetismus* gebe. Aus dem vorigen Versuche ersehen wir, dass *gleichnamige Magnetismen vereinigt sich verstärken, ungleichnamige sich schwächen*. Ein Punkt, in welchem *entgegengesetzte Magnetismen in gleichem Maasse vereinigt* sind, erscheint unmagnetisch; denn der eine Magnetismus stösst dasjenige, was der andere anzieht, ebenso stark ab, beide Magnetismen *halten sich also das Gleichgewicht*.

44. Magnetisierung durch Vertheilung. Versuch a). Man halte einen gut ausgeglühten Eisendraht, von dem man sich vorher über-

Fig. 35.

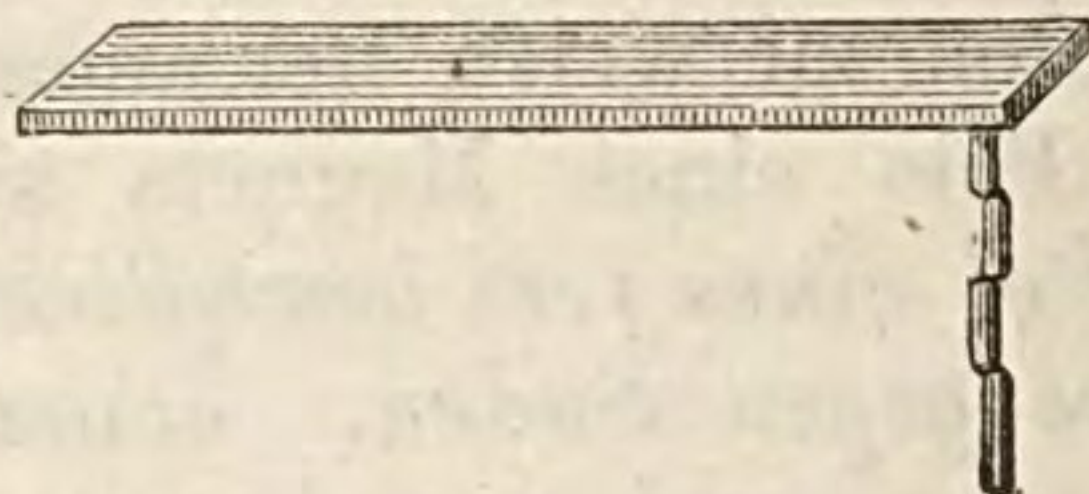


zeugt hat, dass er unmagnetisch ist, an einen kräftigen Magnetpol (Fig. 36). Der Draht zieht Eisenfeilicht an, welches wieder abfällt, wenn derselbe vom Magnete entfernt wird. — Ein mit einem Magnetpole in Berührung stehendes Stäbchen aus weichem Eisen vermag ein zweites Stäbchen, dieses ein drittes (Fig. 37) anzuziehen und festzuhalten; die Stäbchen fallen auseinander, sobald das erste vom Magnet getrennt wird.

Fig. 36.



Fig. 37.



Versuch b). Nähere dem unteren Ende eines Eisendrahtes, welcher mit dem Nordpol des Magnets verbunden ist, eine Magnetnadel, so findet man, dass dieses ein Nordpol ist. — Lässt man eine Stahl-nadel mit dem einen Ende am Nordpole einige Zeit hängen und nimmt sie dann ab, so zeigt dieses Ende einen Südpol, das andere einen Nordpol. Bringe Draht und Nadel an den Südpol des Magnets.

Eisen, überhaupt ein paramagnetischer Körper wird unter dem Einflusse eines Magnetpoles magnetisch, und zwar ruft dieser in dem ihm zunächst liegenden Theile des Körpers den ungleichnamigen, in dem abgewendeten Theile aber den gleichnamigen Pol hervor. Man nennt diese Art einen Körper magnetisch zu machen *Magnetisierung durch Vertheilung*. Hieraus ergibt sich, dass die Anziehung eines paramagnetischen Körpers durch einen Magnet und umgekehrt nur die Folge von der Wechselwirkung ungleichnamiger Magnetpole ist; denn der Anziehung geht immer eine magnetische Erregung im paramagnetischen Körper voraus.

Hänge zwei Stückchen gut ausgeglühten Eisendrahtes dicht neben einander auf, dass sie sich der Länge nach berühren, und halte darunter einen Magnetpol. Warum weichen die Drahtstücke auseinander? Warum nähern sie sich wieder, wenn der Magnetpol entfernt wird? — Zwischen den Polen eines

Fig. 38.

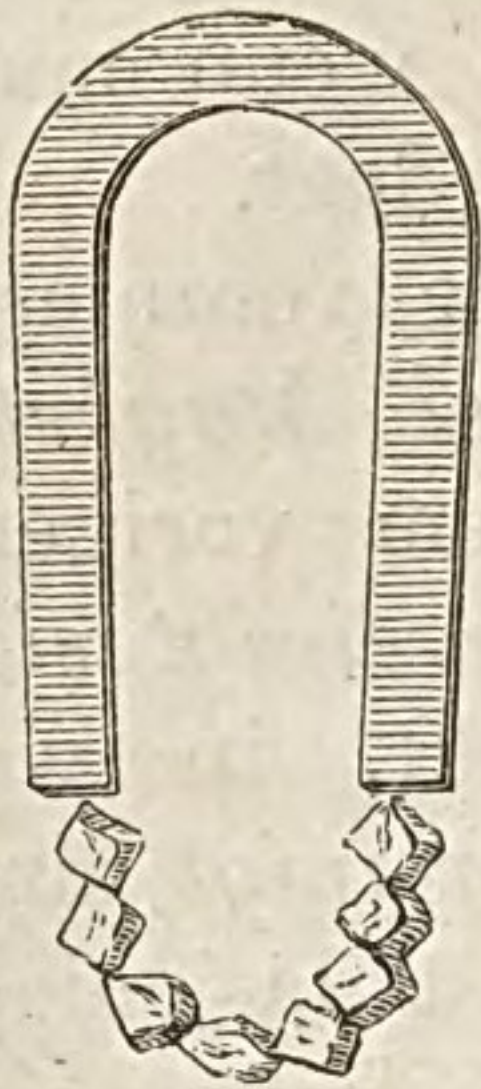
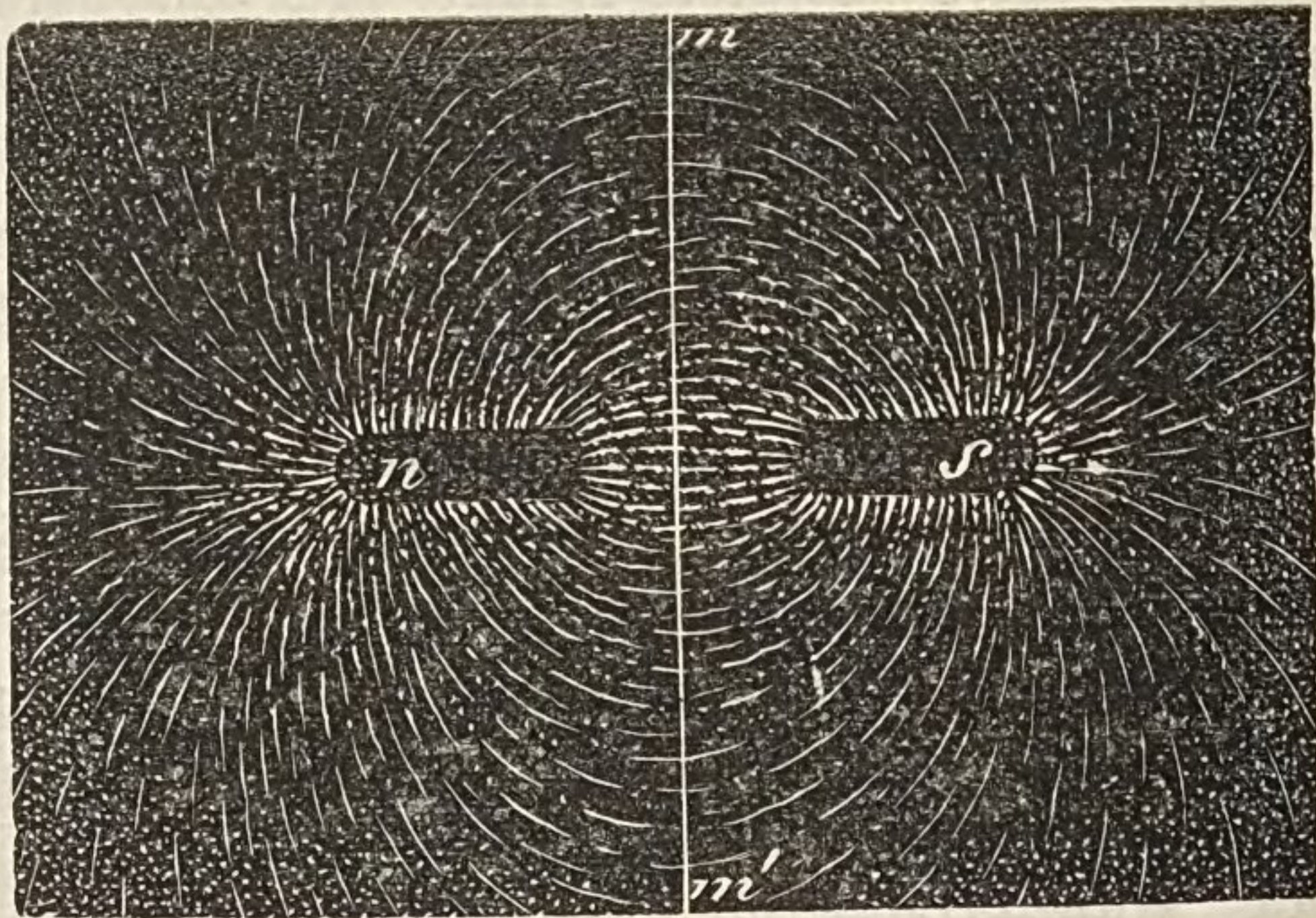


Fig. 39.



Hufeisenmagnets lässt sich aus Stückchen von weichem Eisen eine zusammenhängende Kette bilden (Fig. 38). Wie kommt diess? — Unter eine Glastafel oder

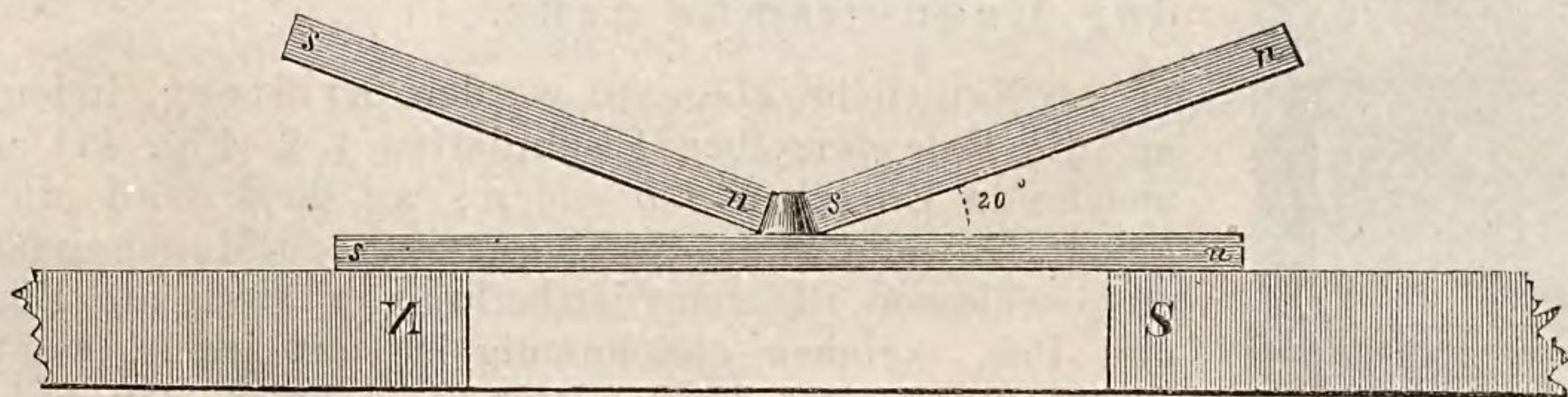
ein gespanntes Papierblatt, welches mit Eisenfeilicht gleichmässig bestreut ist, halte die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnets und klopfe mit dem Finger leise auf die Glastafel oder das Papier. Die Eisentheilchen bilden von einem Pole zum andern (Fig. 39) krumme Linien, welche man magnetische Curven nennt. Woher rührt die Divergenz zweier benachbarten von demselben Pol ausgehenden Linien? — Unmagnetisches weiches Eisen zieht beide Pole einer Magnetnadel an, weil es von jedem im entgegengesetzten Sinne magnetisch erregt wird; harter Stahl wird durch Vertheilung nur sehr schwer magnetisch, daher verhält er sich der Magnetnadel gegenüber fast indifferent.

45. Andere Arten der Magnetisierung. Zur Erzeugung dauernder Magnete benützt man Stäbe aus möglichst gleichförmig dichtem, feinkörnigem, nicht allzu hartem Stahle und von nicht sehr grosser Dicke. Um in einem Stahlstabe den Magnetismus zu erregen, streicht man ihn mit einem starken Magnet, wobei entweder der einfache oder der Doppelstrich angewendet wird.

Unter dem *einfachen Strich* versteht man jenes Verfahren, bei welchem über jede Stelle des zu magnetisierenden Stabes nur Ein Pol des Magnets, und zwar immer derselbe, hinweggeführt wird. Man setzt z. B. den einen Pol des Magnets auf die Mitte des Stabes und streicht gleichförmig drückend nach dem einen Ende hin, fährt über dieses hinaus, kehrt im Bogen durch die Luft zurück, um wieder von der Mitte aus in gleicher Weise zu streichen. Nachdem diess 20—25 mal wiederholt worden, wobei aber nie entgegengesetzt gestrichen werden darf, streicht man die andere Hälfte des Stabes mit dem zweiten Pole. Man thut besser, wenn man zwei nahezu gleich starke Magnete mit dem entgegengesetzten Polen unter einem Winkel von etwa 20 Graden in der Mitte des Stahlstabes aufsetzt, und von hier aus nach den beiden Enden mehrmals mit je einem Pole streicht. Die beiden Hälften erhalten Pole, welche jenen entgegengesetzt sind, mit denen sie gestrichen worden sind.

Beim *Doppelstrich* legt man den Stahlstab am besten auf Stücke von weichem Eisen oder auf zwei kräftige entgegengesetzte Magnetpole (Fig. 40), setzt in der Mitte des Stabes zwei Magnetstäbe mit den ungleichnamigen Polen und 15—20 Grad geneigt auf. Die Pole

Fig. 40.



werden durch ein Holzstückchen getrennt. Mit den beiden Stäben fährt man gleichmässig nach dem einen Ende, von diesem ohne Abheben über die Mitte weg zum andern Ende, von hier wieder zurück und setzt nach mehrmaligem Hin- und Herstreichen endlich in der Mitte ab. Dabei erhält jenes Ende den Nordpol, welchem beim Streichen der Südpol zunächst lag. Statt zweier Streichmagnete kann auch ein Hufeisenmagnet verwendet werden.

Beim Magnetisieren eines hufeisenförmigen Stahlstabes setzt man an die Enden desselben einen Anker, d. i. ein Stück weiches Eisen an und streicht mit einem entsprechend weiten Hufeisenmagnet von den Enden mehrmals bis über die Krümmung hinaus, wobei man immer in der Luft zurückkehrt. Die Schenkel des Stahlstabes erhalten Pole, welche mit den aufgesetzten Polen des Streichmagnets gleichnamig sind. Folgepunkte.

Stahl wird auch in Folge andauernder Erschütterungen z. B., durch Hämmern, Feilen magnetisch; daher kommt es, dass die meisten Stahlwerkzeuge magnetisch sind. Andere Erregungsweisen des Magnetismus werden wir später kennen lernen.

Bei allen diesen Magnetisierungsarten treten wie bei der Magnetisierung durch Vertheilung in dem magnetisierten Stabe immer *beide Pole auf*. Die *Stärke des erregten Magnetismus wächst* bei wiederholtem Streichen *nur bis zu einer gewissen Grenze*, welche von der Stärke des Streichmagnets, von den Dimensionen und der Härte des Stahlstabes abhängt. Nimmt die Stärke des Magnetismus in einem Stabe nicht mehr zu, wenn man ihn wiederholt und selbst mit kräftigeren Magneten streicht, so sagt man der Stab sei mit Magnetismus gesättigt. Der Stahlstab erleidet durch das Magnetisieren ebenso wenig eine Änderung an seinem Gewichte, als der Streichmagnet an Stärke oder am Gewichte etwas verliert.

Um kräftigere Magnete zu erhalten, verbindet man mehrere Magnete mit einander, so dass die gleichnamigen Pole auf einander zu liegen kommen. Gewöhnlich ist der mittlere Stab etwas länger als die übrigen; an diesen wird ein Anker angelegt, an welchen Gewichte gehängt werden können. Das kleinste Gewicht, bei welchem der Anker abreißt, kann als Maass für die *Tragkraft des Magnets* angesehen und darnach die Stärke des Magnets beurtheilt werden. Kleine Magnete tragen verhältnissmässig mehr als grosse. Die Tragkraft wird durch den Anker, welcher durch Vertheilung magnetisch wird, bedeutend erhöht; dieselbe kann auch durch zeitweiliges Zuhängen kleiner Gewichte allmählig gesteigert werden. Durch Erschütterungen, z. B. durch plötzliches Abreissen des Ankers wird die Tragkraft des Magnets geschwächt; ebenso nimmt sie beim Erwärmen ab, und beim Glühen verschwindet der Magnetismus ganz.

Fig. 41.

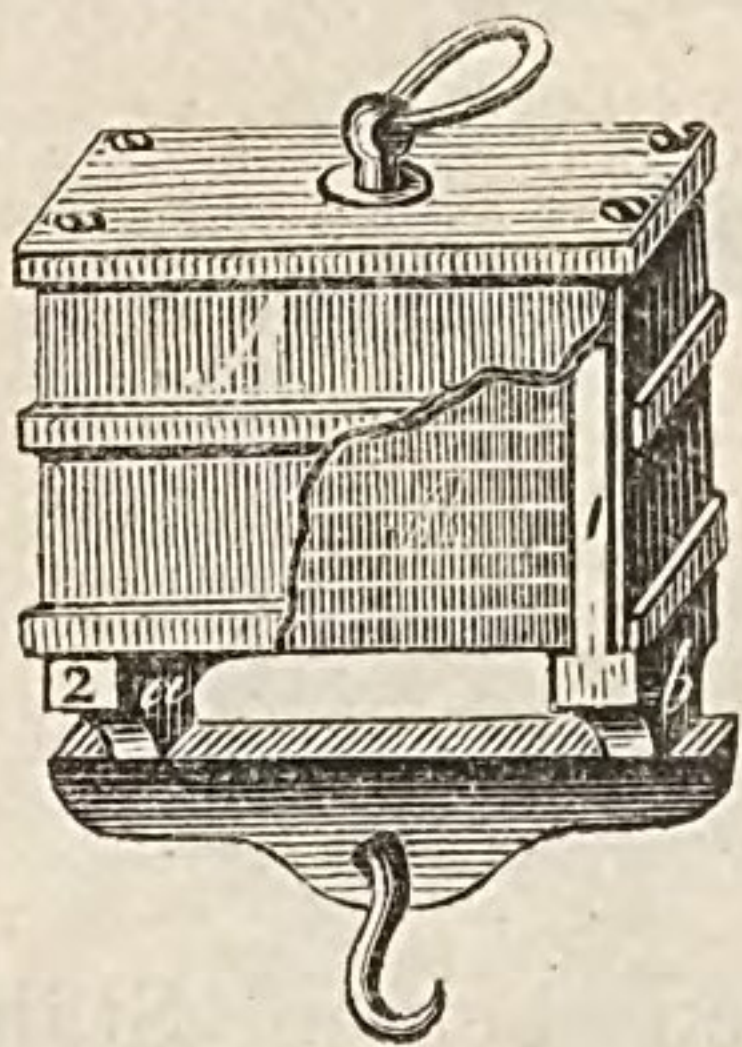
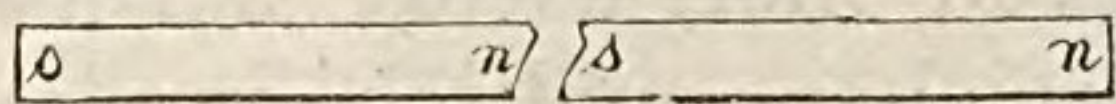


Fig. 42.



Natürliche Magnete werden armirt, indem man an die Pole derselben Eisenplatten 1, 2 (Fig. 41) ansetzt, welche in Füßchen *a, b* enden; an diese wird ein Anker gelegt. Gewöhnlich ist der Magnet in einem Messinggehäuse *A* eingeschlossen. Durch Vertheilung erhalten die Füßchen den Pol, welcher gleichnamig ist mit jenen, woran die Platten angesetzt sind; letztere nehmen den entgegengesetzten Pol an.

46. Erklärung des Magnetischwerdens. Versuch. Zerbricht man eine magnetisierte Stricknadel *sn* in der Mitte, so zeigen (Fig. 42) nicht nur die ursprünglichen Enden

ihre Pole, sondern es treten an den Bruchenden auch die entgegengesetzten Pole auf, so dass die Hälften vollständige Magnete

mit gleich liegenden Polen vorstellen. Verbindet man die Bruchenden wieder, so bildet das Ganze Einen Magnet und die Bruchstelle ist indifferent. Halbiere die Hälften weiter.

Jeder Magnet ist daher anzusehen als eine Verbindung von sehr kleinen, sogenannten Elementar-Magneten, deren gleichnamige Pole alle nach derselben Seite gewendet und deren magnetische Axen zu einander parallel sind. Die eine Hälfte eines solchen Elementarmagnets ist nur mit Nord-, die andere nur mit Südmagnetismus begabt. Die Magnetismen wandern aber von einem Theilchen zum andern ebenso wenig, als sie von einem Magnete auf einen andern Körper übertragen werden können. Die Gesamtkraft der Pole eines Magnets ist nur das Ergebniss der Kräfte, welche den entsprechenden Polen seiner Elementarmagnete eigen sind; *ein Magnet mit nur Einem Pole ist daher unmöglich.*

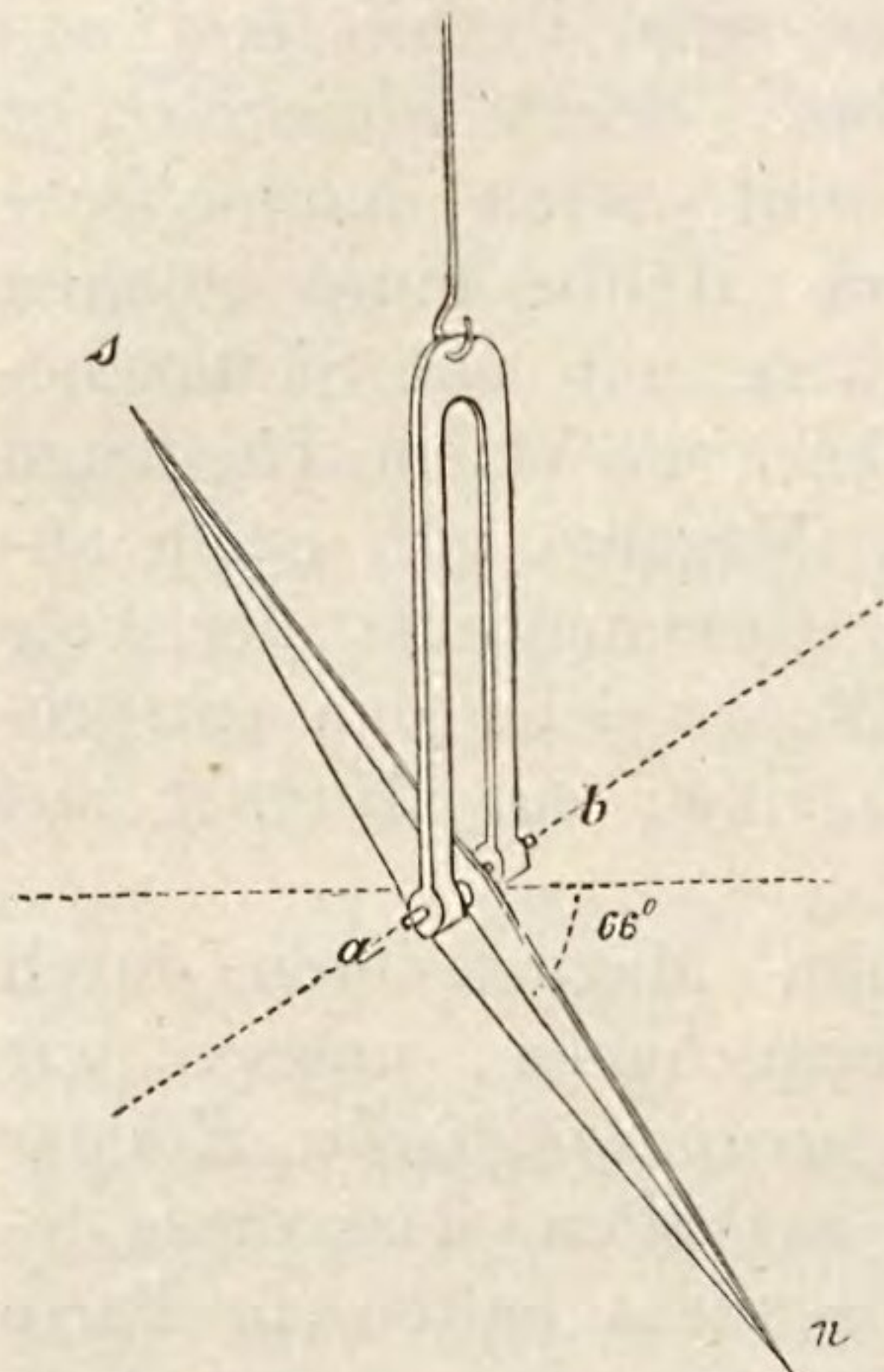
Aus den Thatsachen, welche wir beim Magnetisiren durch Vertheilung und durch Streichen kennen gelernt haben, müssen wir schliessen, dass Eisen, Stahl und andere *paramagnetische Körper beide Magnetismen der Anlage nach bereits enthalten*, dass diese jedoch in den Körperelementen sich das Gleichgewicht halten, in Folge dessen jede Stelle eines paramagnetischen Körpers einen ausserhalb gelegenen Punkt, z. B. den Nordpol einer Magnetnadel ebenso stark anzieht als abstösst, und daher als unmagnetisch erscheint. (Vgl. §. 43.) Weil nun aber ungleichnamige Magnetismen sich anziehen, gleichnamige sich abstossen, so kann das magnetische Gleichgewicht eines Körpers durch einen Magnetpol gestört, und daher der Körper magnetisch werden. Je nachdem diese Störung des magnetischen Gleichgewichtes eine bleibende, wie z. B. beim magnetisierten Stahl, oder nur eine augenblickliche ist, wie bei dem durch Vertheilung magnetisch gewordenen weichen Eisen, wird der paramagnetische Körper in einen *dauernden* (permanenten) oder einen *temporären Magnet* verwandelt. Während aber das weiche Eisen sehr leicht magnetisch wird, und den erregten Magnetismus ebenso leicht verliert (Vgl. §. 44), widersteht der harte Stahl der Erregung und Vernichtung des Magnetismus sehr kräftig. *Die Ursache des Widerstandes, welchen Körper der Erregung und Vernichtung des Magnetismus, kurz jeder Veränderung ihres magnetischen Zustandes entgegensetzen, heisst magnetische Coërcitivkraft.* Dieselbe hängt mit dem Härtegrad der Körper und mit der Temperatur zusammen, auch wird dieselbe durch an die Magnete gelegte Anker begünstigt, weil letztere durch Vertheilung selbst magnetisch werden und dadurch den Magnetismus im Stabe festhalten helfen.

47. Erdmagnetismus. Bekanntlich weist die um eine verticale Axe drehbare Magnetnadel in der Ruhelage mit ihrem Nordpole stets gegen Norden hin. Näheren Aufschluss darüber gibt

Versuch *a*). Halte mittelst eines ungedrehten Fadens eine Magnetnadel über einen kräftigen Magnet; sie stellt ihre Pole über die ungleichnamigen des Magnets, und folgt jeder Bewegung des letzteren, wenn er gedreht wird.

Versuch *b*). Ein Stahlstäbchen sei (Fig. 43) so aufgehängt, dass es sich sowol in einer horizontalen Ebene, als auch um die durch

Fig. 43.



seinen Schwerpunkt gehende Axe *ab* in einer verticalen Ebene drehen könne. Das Stäbchen liegt horizontal, falls es unmagnetisch ist; es neigt sich hingegen um einen Winkel von etwa 66 Graden, wenn es magnetisch ist, und zwar ist der Nordpol nach abwärts und gegen Norden gekehrt. Bringe das Magnetstäbchen aus dieser Ruhelage.

Versuch *c*). Halte eine Magnetnadel mittelst eines Fadens über einen Magnetstab. Über der indifferenten Stelle desselben ist sie horizontal; bewegt man sie gegen einen Pol hin, so senkt sich der ungleichnamige Pol der Nadel um so stärker, je mehr er in die Nähe des Magnetpoles kommt.

Versuch *d*). Halte in der Richtung der beim Versuch *b*) verwendeten in Ruhe befindlichen Magnetnadel eine weiche Eisenstange und führe nahe an ihr vom untern zum oberen Ende eine Magnetnadel hin; unten wird der Nord-, oben der Südpol abgestossen. Das Eisen ist also ein Magnet geworden.

Aus diesen Versuchen folgt, dass *in der Erde* gleichfalls *die magnetischen Kräfte wirksam* sind, welche derartig vertheilt sind, dass *im Norden der Erde ein magnetischer Südpol, im Süden aber der magnetische Nordpol* liegt.

Würden wir, wie z. B. die Franzosen, den nach Norden zeigenden Pol der Magnetnadel Südpol, den anderen Nordpol heissen, so müssten wir den auf der nördlichen Erdhälfte vorwiegenden Magnetismus als nördlichen und jenen, welcher auf der südlichen Hemisphäre vorherrschend ist, als südlichen Magnetismus bezeichnen.

Legt man auf ein horizontales Brett, auf welchem die Mittagslinie verzeichnet ist*), eine Kreistheilung, so dass ihr Nullpunkt in die Mittagslinie fällt, und stellt darüber eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel, so weicht die magnetische Axe derselben von der Mittagslinie westlich um etwa 13 Grade ab. Man nennt diesen Winkel die *magnetische Abweichung* (Declination) und daher eine Magnetnadel, welche in horizontaler Ebene drehbar ist, eine *Deklinationnadel*. Die Ebene, welche durch die magnetische Axe einer ruhenden Deklinationnadel vertical gelegt werden kann, heisst der *magnetische Meridian* des betreffenden Ortes. Man kann daher auch sagen: *die magnetische Abweichung eines Ortes ist der Winkel, welchen der magnetische mit dem geographischen Meridian bildet*.

*) Die Mittagslinie erhält man, wenn man auf einer horizontalen Fläche z. B. einem Fensterbrette einen Kreis verzeichnet, in dessen Mittelpunkt einen Stift senkrecht aufsteckt und anmerkt, wo der Kreis von dem Schatten getroffen wird, welchen der Stift zu zwei vom Mittag gleich weit abstehenden Zeiten, z. B. zwei Stunden vor und zwei Stunden nach dem Mittag wirft. Die Halbierungslinie des von den Schatten gebildeten Winkels ist die Mittagslinie.

Eine Magnetnadel, welche wie die beim Versuch b) benützte im magnetischen Meridian drehbar ist, wird eine *Inclinationsnadel* genannt, indem *der Winkel, welchen ihre magnetische Axe in der Ruhelage mit der horizontalen bildet, die magnetische Neigung (Inclination) heisst.*

Die Declinationsnadel soll den Chinesen schon 1100 Jahre vor Chr. Geburt bekannt gewesen sein; in Europa lernte man sie erst im 13. Jahrh. kennen. Man benützt dieselbe, um sich z. B. auf dem Meere nach den Weltgegenden zurecht zu finden. Dazu dient der Compass oder die Boussole, welche aus einem eisenfreien Messinggehäuse (Fig. 44) besteht, in dessen Innerem eine Kreistheilung und eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel angebracht ist. Die Drehaxe der letzteren steht im Mittelpunkt der Kreistheilung senkrecht auf diese; die Bewegung der Nadel lässt sich mittelst der Schraube *d* nöthigenfalls hemmen. Oft ist die Boussole um eine verticale Axe drehbar und seitlich mit einem Fernrohre versehen, welches parallel zu dem durch den Nullpunkt der Kreistheilung gezogenen Durchmesser gestellt ist. Beim Schiffsscompass ist die Kreistheilung durch eine Windrose ersetzt; die Boussole wird auch zu Winkelmessungen benützt. Eisenmassen wirken auf ihren Gang störend ein. Warum? — Die Declination ändert sich mit dem Orte und mit der Zeit. Nach Lamont war sie am 1. Jänner 1858 in Brüssel $19^{\circ} 16'$, Lissabon $21^{\circ} 40'$, Madrid $20^{\circ} 8'$, Paris $19^{\circ} 36'$, Bonn $17^{\circ} 36'$, Hannover $16^{\circ} 25'$, Königsberg $10^{\circ} 12'$, München $14^{\circ} 54.5'$. In Wien ist die Declination nahezu $12^{\circ} 30'$. Im Jahre 1616 war sie im grössten Theile von Deutschland gleich Null und war vor dieser Zeit östlich. Die westliche Abweichung nimmt gegenwärtig um 4 bis 5 Minuten jährlich ab. — Die Inclination bestimmt man mit sogenannten Inclinatorien. Dieselbe ist auch verschieden nach Ort und Zeit; nach Lamont betrug sie am 1. Jänner 1858 in Brüssel $67^{\circ} 40'$, Lissabon $60^{\circ} 39'$, Madrid $60^{\circ} 6'$, Paris $66^{\circ} 36'$, Hannover $67^{\circ} 50'$, Königsberg $68^{\circ} 49'$, München $64^{\circ} 39.5'$. In Wien beträgt sie etwa 65° . Nach Lamont nimmt die Inclination in Deutschland um nahezu $2.3'$ jährlich ab. Vom Äquator aus gegen die Erdpole zu wächst die Inclination und beträgt an zwei in der Nähe der Erdpole liegenden Orten 90° . Die Orte, wo die Inclinationsnadel vertical steht, heissen die magnetischen Pole der Erde; den einen fand man (Capitän Ross) bei den Mellville's Inseln, den andern aber südlich von Van-Diemensland. In der Nähe des Erdäquators stellt sich die Inclinationsnadel horizontal. Die Linie, welche die Orte, wo die magnetische Neigung Null ist, verbindet, heisst der magnetische Erdäquator. Derselbe schneidet den geographischen Aequator in zwei Punkten und weicht von diesem nördlich höchstens um 12° , südlich um etwa 14° ab. Nördlich vom magnetischen Äquator ist der Nordpol, südlich aber der Südpol der Inclinationsnadel nach abwärts geneigt. Die Inclination und die Abstossung gleichnamiger Pole hat 1543 Georg Hartmann zu Nürnberg entdeckt. — Aus dem Erdmagnetismus erklärt sich das Magnetischwerden von Eisenstangen, Öfen u. dgl. Die Erde sucht die Magnete immer nach den Weltgegenden zu richten, also die Magnetpole umzukehren, wenn sie nicht schon die entsprechende Stellung haben. Dadurch nun wird der Magnet geschwächt, was aber durch Anlegen von Ankern verhindert wird. Um eine Magnetnadel zu erhalten, welche der richtenden Kraft des Erdmagnetismus nicht mehr unterliegt, also bei jeder Stellung in Ruhe bleibt, verbindet man (Fig. 45) zwei nahezu gleich starke Magnetnadeln, so dass die ungleichnamigen Pole übereinander liegen. Ein solches Nadelpaar heisst eine astatische Magnetnadel.

Fig. 44.

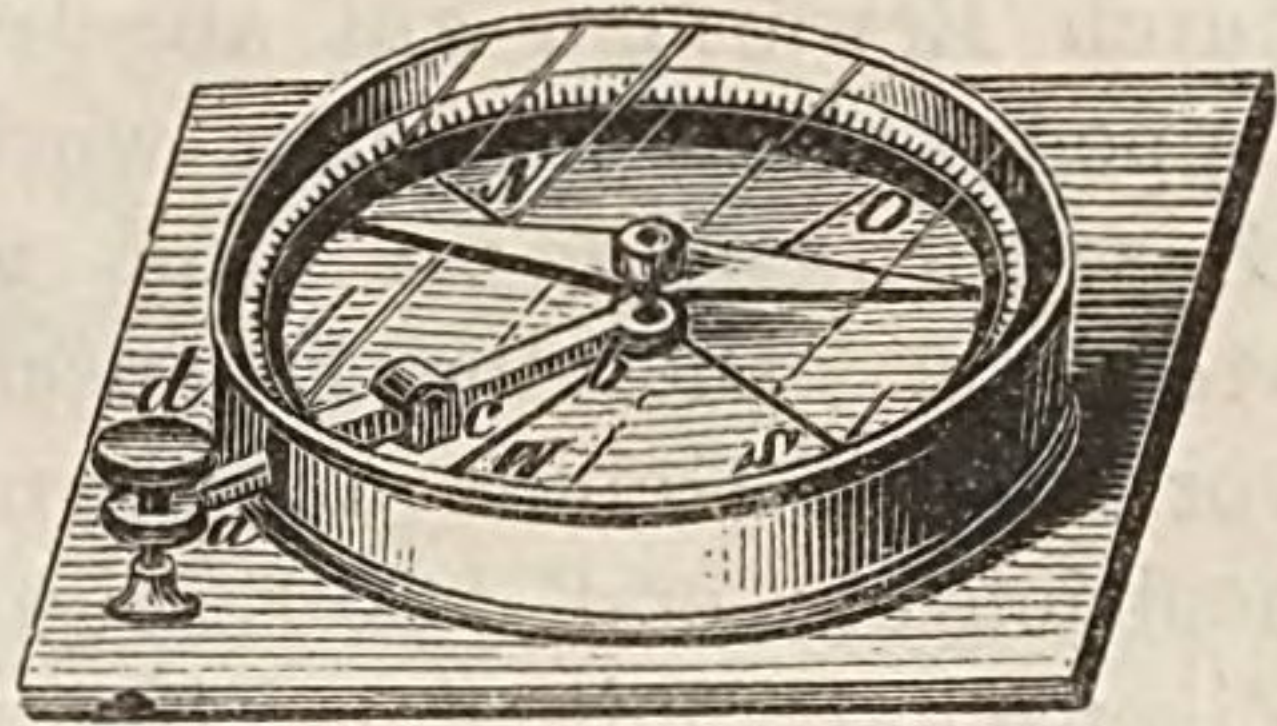
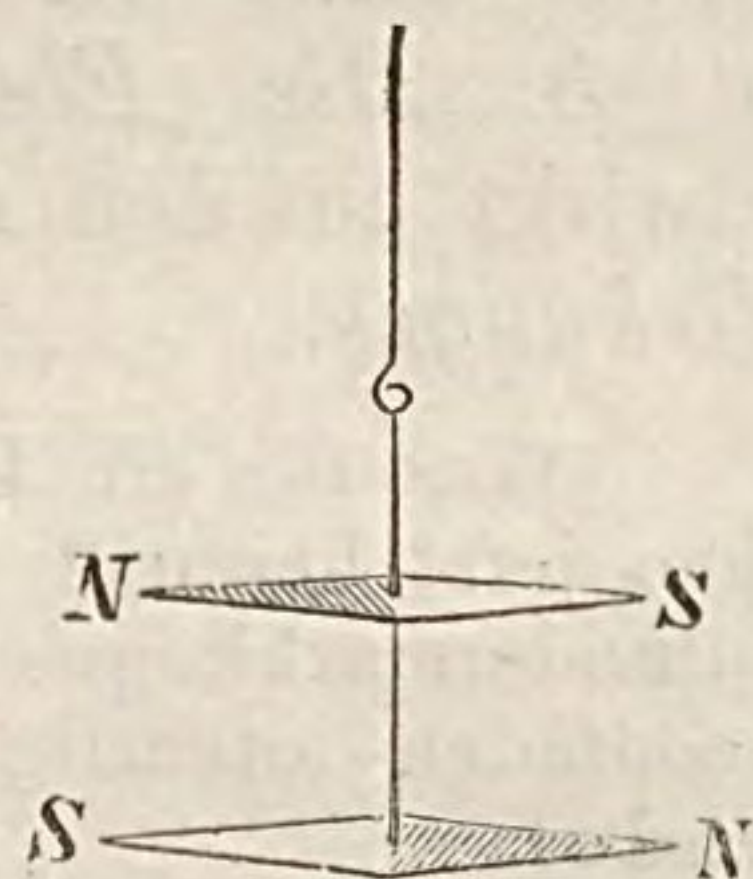


Fig. 45.



VI. VON DER ELEKTRICITÄT.

A. Die Reibungselektricität.

48. Elektrischer Zustand. Versuch *a*). Streue auf eine Blechtafel Papierschnitzelchen, kleine Stücke von Hollundermark und andere leichte Körperchen, nähere denselben eine Glasstange, nachdem sie durch Erwärmen gut abgetrocknet und mit einem Woll- oder Seidenlappen kräftig gerieben worden ist. Die Körperchen werden von dem Glase angezogen und nach erfolgter Berührung wieder abgestossen. Dieselbe Eigenschaft hatten die Alten bereits 400 Jahre vor Christi Geburt am Bernstein (von den Griechen Elektron genannt) beobachtet; erst 1600 zeigte Gilbert, dass auch andere Körper jene Eigenschaft mit dem Bernstein gemeinsam haben. Wiederhole den Versuch mit Schwefel, Siegellack, mit einer Glasstange, welche mit Schellak überzogen ist, mit einer Zinkplatte, welche mit einem gläsernen Handgriff versehen, auf Filz gerieben wird.

Körper, welche die Eigenschaft besitzen, andere leichte Körper aus der Ferne an sich zu ziehen und nach erfolgter Berührung wieder abzustossen, werden elektrisch genannt. Die Ursache des elektrischen Zustandes heisst Elektricität.

Versuch *b*). Nähert man der geriebenen Glasstange im Dunkeln einen Fingerknöchel, so sieht man einen hellen knisternden Funken, welcher der elektrische Funke genannt wird, auf den Knöchel überspringen, und verspürt dabei einen Stich. Die kräftig elektrische Glasstange erregt auch einen eigenthümlichen Geruch. Wiederhole den Versuch mit einem Papierblatte, welches auf dem Ofen gewärmt, auf den Tisch gelegt, mit Gummielasticum gerieben und dann vom Tische rasch abgerissen worden ist.

Aus den Versuchen ergeben sich daher die Sätze:

1. Durch Reiben wird Elektricität erregt. 2. Ein elektrischer Körper zieht leichte Körper aus der Ferne an und stösst sie wieder ab. 3. Die Elektricität bringt Lichterscheinungen hervor, und 4. wirkt auf den menschlichen Körper ein, d. h. erzeugt physiologische Wirkungen.

Was für ein Unterschied zwischen Elektricität und Magnetismus stellt sich schon jetzt heraus? Um einen leicht beweglichen Körper zu erhalten, hänge ein Hollundermarkkugelchen oder einen aus Silberpapier geschnittenen Ballon an einem Coconfaden lothartig auf. Eine solche Vorrichtung heisst ein elektrisches Pendel.

49. Elektrisierung durch Mittheilung. Gute und schlechte Leiter. Versuch *a*). Man nähere dem Ballone *a* (Fig. 46) eine geriebene Glas- oder Harzstange; *a* wird angezogen und wieder abgestossen. Nun nähere man dem *a* den Ballon *b*; *b* wird von *a* ange-

zogen und wieder abgestossen. — Berühre eine an einem Seidenfaden aufgehängte oder auf einem Glasfuss ruhende Metallkugel mit einem geriebenen Glasstabe oder lasse auf sie einen elektrischen Funken überschlagen; die Kugel wird sich nachher elektrisch erweisen.

Körper werden also auch elektrisch, wenn sie mit einem elektrischen Körper berührt werden oder wenn von diesem ein Funke überspringt. Diese Art der Elektrizitätserregung hat man *Elektrisierung durch Mittheilung* genannt.

Versuch b). Wird ein Scheibchen *b* aus Goldpapier (Fig. 47) an einem Seidenfaden *s* aufgehängt, mit *b* ein gleiches Scheibchen *a* durch den Metalldraht *m* verbunden und *a* durch Mittheilung elektrisch gemacht, so kann man sich mit dem elektrischen Pendelchen überzeugen, dass nicht nur *a* sondern auch *b* und der Draht *m* elektrisch werden. Sind *a* und *b* aber durch Seide, ein dünnes Glas- oder Schellackstäbchen verbunden, so zeigen weder diese noch *b* eine Spur von Elektrizität, wenn auch *a* durch Mittheilung elektrisiert worden ist. Mache den Seiden- oder Glasfaden zwischen *a* und *b* feucht und wiederhole den Versuch.

Versuch c). Berühre eine Metallkugel, welche auf einem Glasfusse ruht, mit einer geriebenen Harzstange; die Kugel wird an der ganzen Oberfläche elektrisch. Eine trockene Glas- oder Harzkugel zeigt nur an der Berührungsstelle Elektrizität. — Eine elektrische Metallkugel mit dem Finger berührt oder durch einen Draht mit der Erde verbunden, wird vollständig, eine Glaskugel aber nur an der Berührungsstelle unelektrisch. Die Kugeln erleiden keinen Elektrizitätsverlust, wenn man sie mit einem Glas- oder Schellackstängelchen berührt.

In Beziehung auf die Fortleitung der Elektrizität zerfallen die Körper in gut und schlecht leitende. Die guten Leiter nehmen die Elektrizität schnell auf, verbreiten sie schnell über die ganze Oberfläche, lassen sie leicht durch ihr Inneres, geben sie aber auch wieder vollständig ab, wenn sie ableitend berührt werden. Die schlechten Leiter empfangen und verlieren die Elektrizität nur an der berührten Stelle und deren nächste Umgebung, und theilen sie nicht, oder doch nur sehr schwer durch ihr Inneres mit. Der Grund dieses Unterschiedes zwischen guten und schlechten Elektrizitätsleitern liegt in dem kleineren oder grösseren Widerstand, welchen die Körper der Fortpflanzung der Elektrizität entgegensetzen. Dieser Widerstand wird der elektrische Leitungswiderstand genannt. Die besten Elektrizitätsleiter sind die Metalle, Flüssigkeiten, daher auch feuchte Luft, feuchtes Erdreich; der menschliche und thierische Körper leiten eben-

Fig. 46.

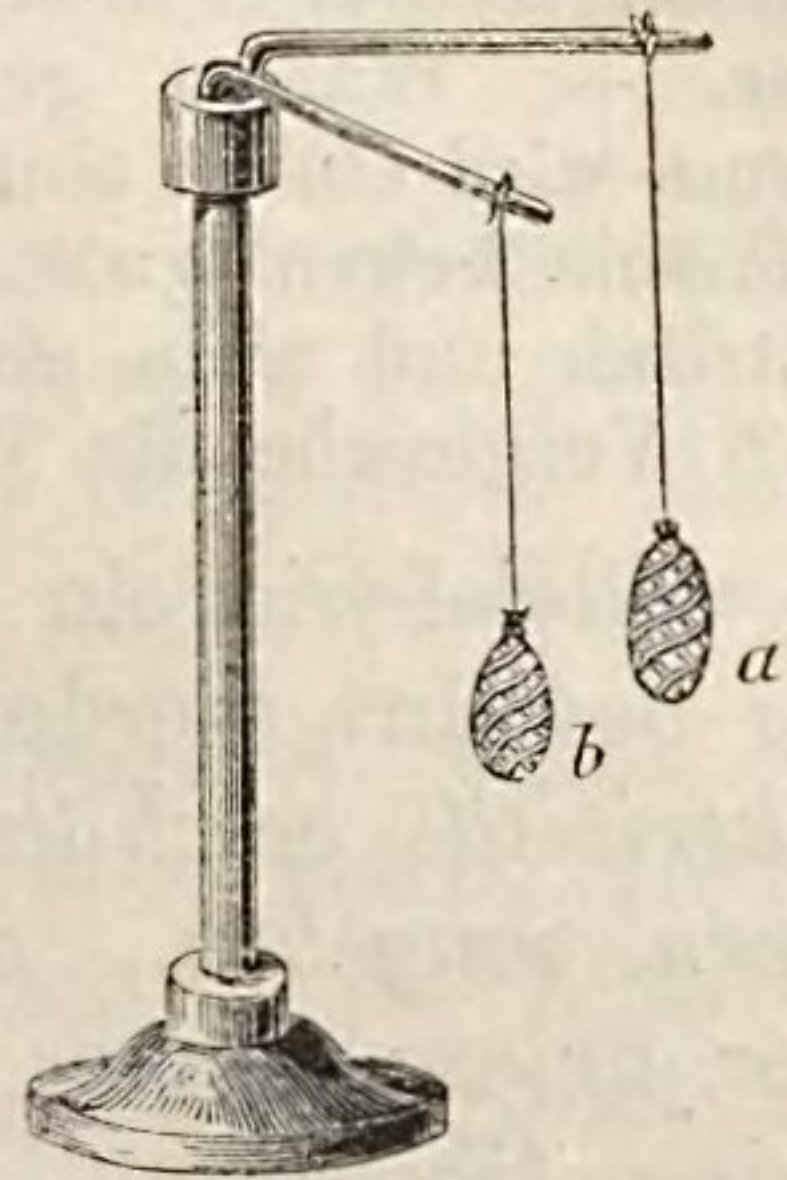
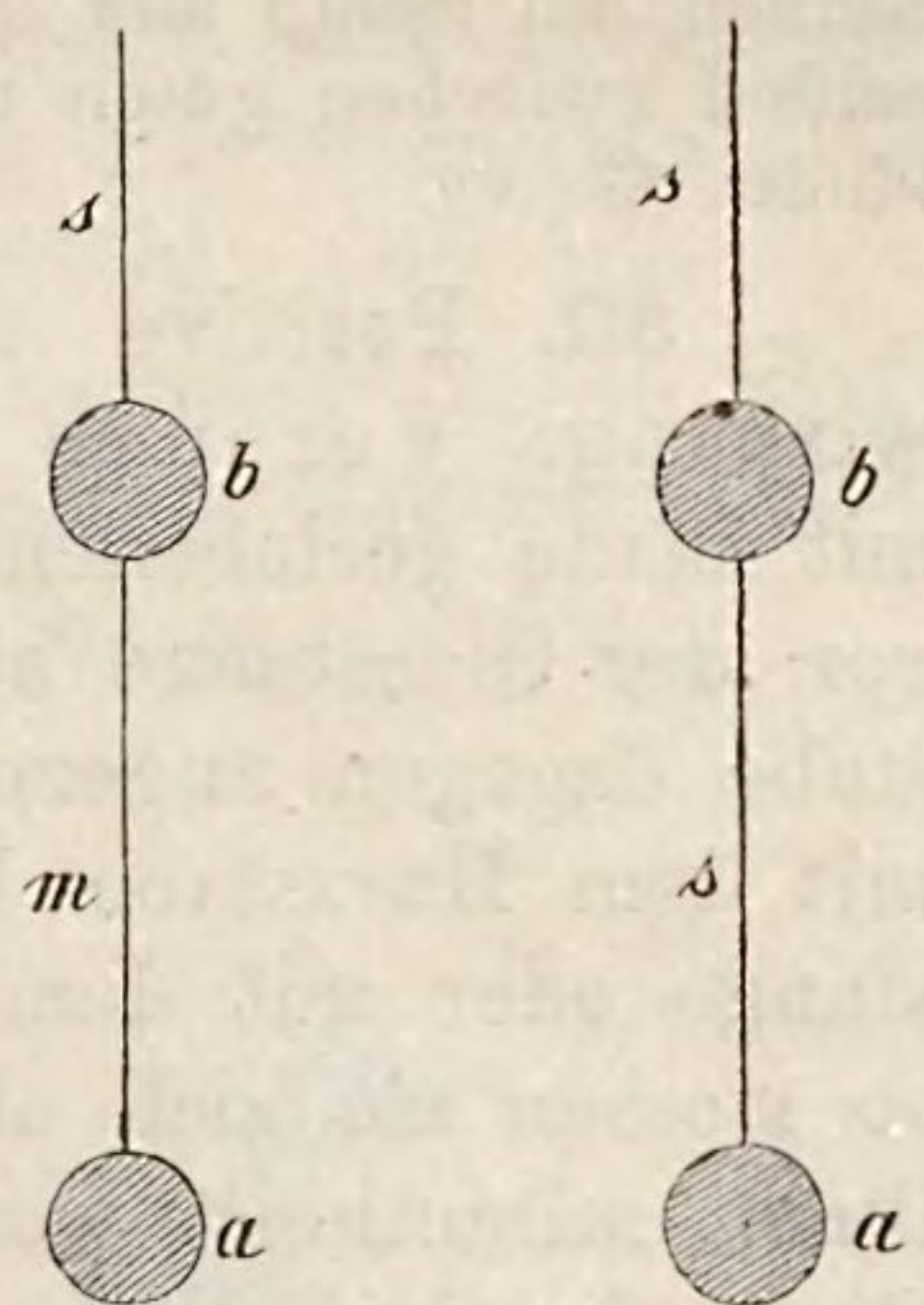


Fig. 47.



falls die Elektrizität gut. Zu den schlechten Leitern gehören Glas, Schellack, Kautschuk, Guttapercha, Seide, Haare, trockene Luft u. s. w.

Nach ihrem elektrischen Leitungsvermögen ordnen sich die Metalle in fallender Reihe: Silber, Kupfer, Gold, Messing, Eisen, Platin, Zinn, Blei, Quecksilber. — Warum gelingen elektrische Versuche schlecht bei feuchter Luft? Warum wird ein an einem Metalldrahte oder einem feuchten Leinenfaden hängendes Papierscheibchen nur angezogen? Warum wird eine Harzstange durch Reiben elektrisch und nicht eine Metallstange, wenn man diese nicht mit einem Glasgriffe hält? Vergleiche die Wärmeleiter mit den Elektrizitätsleitern.

Gleichwie ein Körper durch schlechte Wärmeleiter vor Abkühlung bewahrt werden kann, ebenso wird *ein Körper vor Verlust an Elektrizität geschützt, wenn er mit lauter schlechten Elektrizitätsleitern umgeben, d. h. isoliert wird.* Die schlechten Elektrizitätsleiter heissen daher auch *Isolatoren*. Am besten isolieren: Schellack, gewisse Glassorten, trockene Luft, Seide.

Die Glasfüsse elektrischer Apparate müssen vor dem Gebrauche durch Reiben mit Seide und durch Erwärmen gut getrocknet werden. — Den Unterschied zwischen guten und schlechten Elektrizitätsleitern entdeckte 1729 der Engländer Gray.

50. Positive und negative Elektrizität und deren Wechselwirkung. Versuch *a*). Wird dem Pendelchen *a* (Fig. 46) von einer mit Seide geriebenen Glasstange Elektrizität mitgetheilt, so wird es von der Glasstange abgestossen, von einem mit Seide geriebenen Harzstabe dagegen angezogen. Das Umgekehrte tritt ein, wenn *a* zuerst mit dem Harzstabe berührt wird. Werden *a* und *b* mit der Glasstange oder mit dem Harzstabe berührt und hierauf einander genähert, so stossen sie sich ab und zwar um so stärker, je mehr Elektrizität ihnen mitgetheilt worden ist; sie ziehen sich an, wofern *a* mit der Glas-, *b* mit der Harzstange berührt worden ist.

Es gibt demnach zwei verschiedene Elektrizitäten, nämlich positive, d. i. diejenige, welche an einem mit Seide geriebenen Glasstabe auftritt, und negative, welche eine mit Seide geriebene Harzstange zeigt. Die zwei Elektrizitäten wirken auf einander wechselseitig ein und zwar nach dem Gesetze: *Gleichnamige Elektrizitäten stossen einander ab, ungleichnamige ziehen sich an.* Die Stärke dieser gegenseitigen Einwirkung wächst mit den Elektrizitätsmengen, und wird 4, 9, 16, u. s. w. mal kleiner, wenn die Entfernung 2, 3, 6, u. s. w. mal grösser wird.

Nach dem obigen Gesetze lässt sich entscheiden, ob ein Körper positiv oder negativ elektrisch ist. Positive Elektrizität soll der Kürze halber durch $+E$, negative durch $-E$ bezeichnet werden. — Das Vorhandensein zweier Elektrizitäten und das Gesetz ihrer Wechselwirkung entdeckte der Franzose Du Fay 1733. Derselbe nannte die positive Elektrizität Glas-, die negative aber Harzelektrizität. Man ist von dieser Benennung abgekommen, weil jeder Körper beider elektrischen Zustände fähig ist. So wird Glas mit Katzenfell gerieben negativ elektrisch, ebenso mattgeschliffenes Glas, wenn es mit Seide gerieben wird.

Versuch *b*) An einem isolierten Metallcylinder, dessen Enden abgerundet sind, seien an dem einen Ende zwei sich berührende Pendelchen mittelst Leinenfäden befestigt. Theilt man dem Cylinder z. B. positive Elektrizität mit, so divergieren die Pendelchen: ihre

Divergenz wächst, wenn man noch mehr positive Elektricität mittheilt; die Divergenz wird hingegen kleiner, wenn der Cylinder beim zweiten Male negative Elektricität erhält. Der Cylinder erweist sich als unelektrisch wenn ihm gleich viel positive und negative Elektricität mitgetheilt wird. Hieraus folgt:

1. *Gleichnamige Elektricitäten verstärken, ungleichnamige schwächen sich in ihrer Wirkung, wenn sie auf einem Körper vereinigt werden.* 2. *Entgegengesetzte Elektricitäten in gleicher Menge verbunden heben sich sogar auf oder halten sich das Gleichgewicht.*

Versuch c). Auf eine dünne Kautschuckscheibe werde eine Schlinge aus Silberpapier, die Belegung nach aussen gekehrt, geklebt, und auf deren Enden ein mit Amalgam (1 Th. Zink, 1 Th. Zinn und 2 Th. Quecksilber) überzogener Lederfleck fest gepickt. Reibt man nun an der amalgamierten Seite des Leders eine Glasstange und nähert die Papierschlinge einem Pendelchen so wird es angezogen und nachher abgestossen, während es von der Glasstange auch jetzt angezogen wird. Befindet sich das Pendelchen zwischen der Papierschlinge und der Glasstange, so bewegt es sich zwischen beiden hin und her.

Beim Reiben zweier Körper treten demnach immer beide Elektricitäten auf, indem der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird.

Fig. 48.

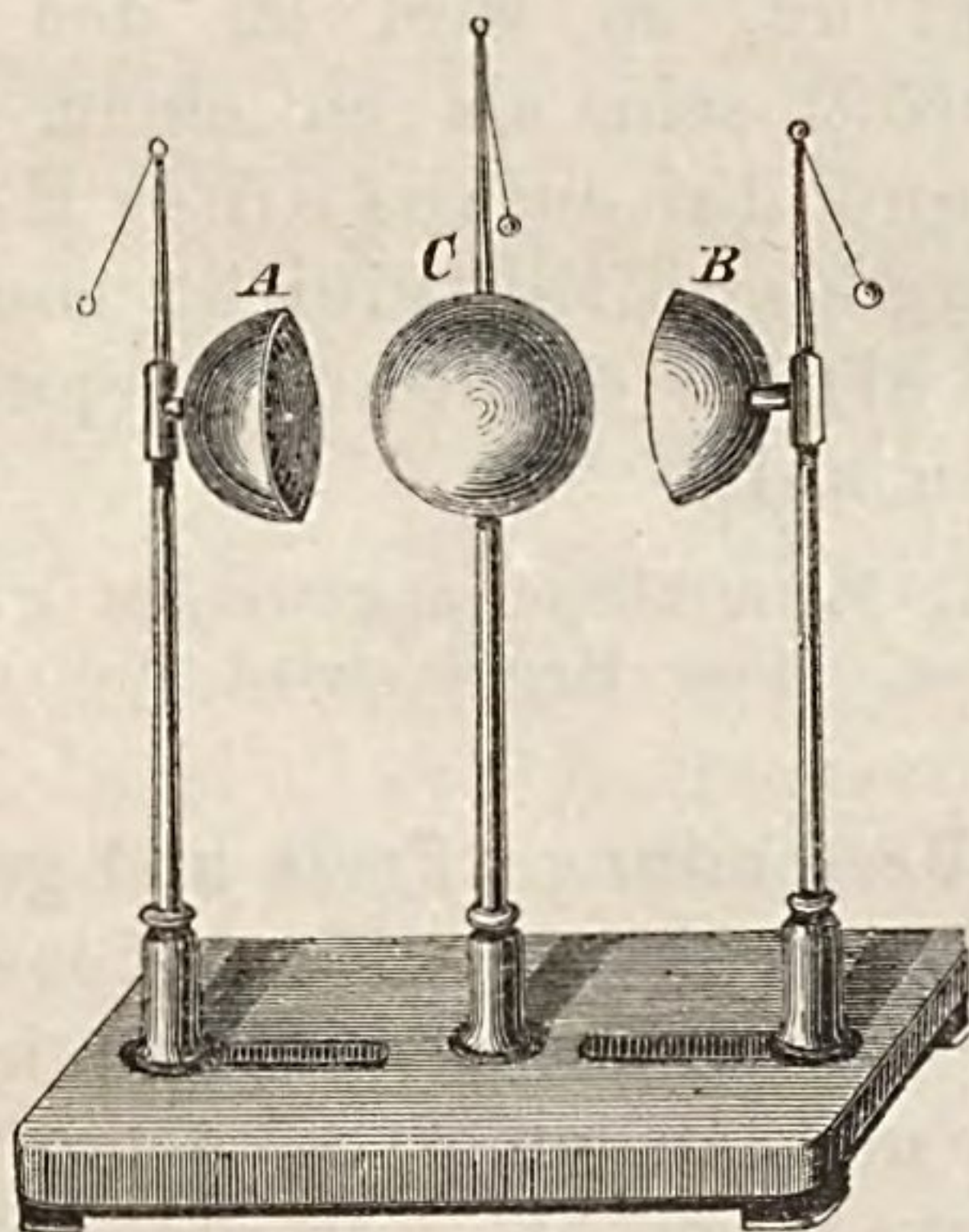
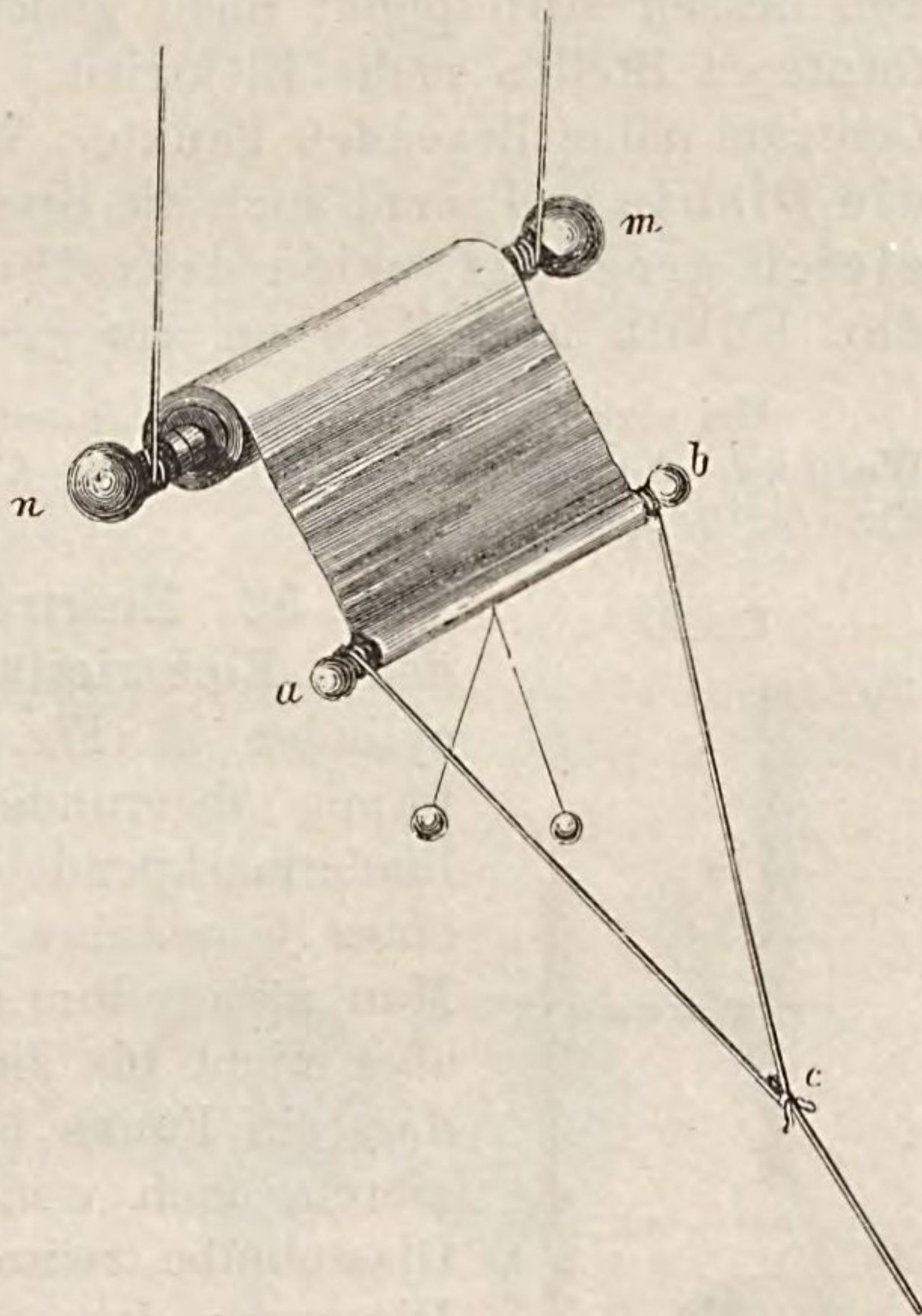


Fig. 49.



51. Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche. Elektrische Spannung.

Versuch a). Eine isolierte Metallkugel C (Fig. 48) sei von den zwei metallenen hohlen Halbkugeln A, B, welche auf Glasstäben ruhen, genau umschlossen.

Theilt man der Kugel Elektricität mit und zieht hierauf die Halbkugeln isoliert und gleichzeitig weg, so sieht man an ihnen die Pendelchen wie vorhin divergieren. Das auf C aufgesteckte Pendelchen a zeigt aber keine Elektricität an.

Versuch b). Auf den Metallcylinder m n (Fig. 49), welcher an seidenen Schnüren hängt, ist ein Streifen Goldpapier aufgewickelt.

An diesem ist ein Glasstäbchen ab befestigt, woran zwei elektrische Pendelchen hängen. Zieht man an den Seidenfäden ac und bc , so wird der Papierstreifen abgewickelt; derselbe rollt sich wieder zusammen, wenn man mit dem Zuge bei c nachlässt. Man berühre den zusammengerollten Papierstreifen an einer Stelle mit einem elektrischen Körper; die Pendelchen divergieren: die Divergenz wird um so kleiner, je mehr man den Streifen abwickelt, und wächst wieder, sobald die aufgerollte Fläche abnimmt. Aus diesen Versuchen folgt:

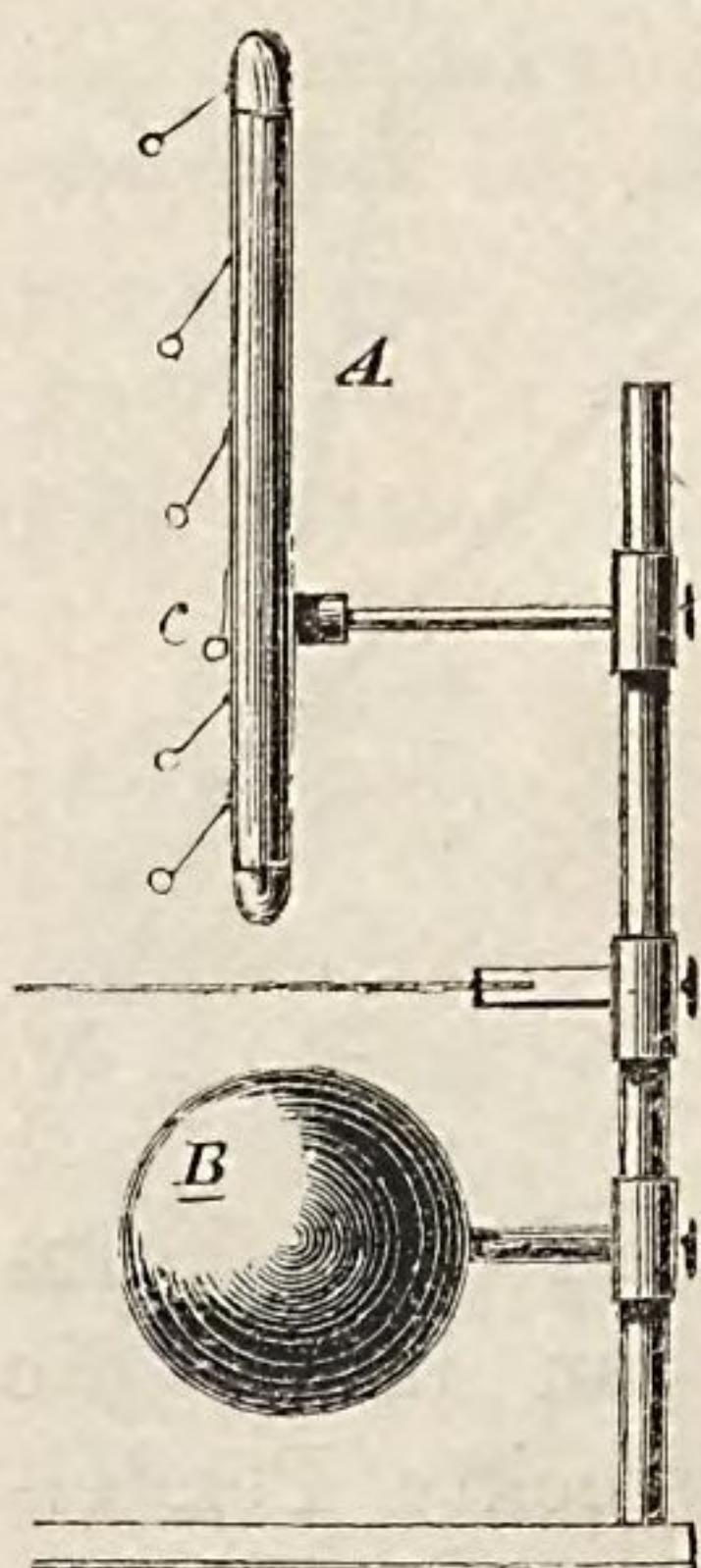
1. Die einem guten Leiter mitgetheilte Elektricität verbreitet sich nur über die Oberfläche und nicht im Innern desselben. 2. Die Kraft, mit welcher ein elektrischer Körper auf einen andern anziehend oder abstossend einwirkt, hängt von der Dichte der Elektricität, d. i. von der Elektricitätsmenge ab , welche auf der Flächeneinheit z. B. auf 1 □ Zoll seiner Oberfläche angehäuft ist.

Die gleichnamigen Elektricitäten zweier benachbarten Stellen an der Oberfläche eines Körpers werden wegen ihrer wechselseitigen Abstossung sich vom Innern des Körpers möglichst weit, also vom Körper überhaupt zu entfernen suchen, bis sie daran durch einen schlechten Leiter gehindert werden. Dieses Bestreben der Elektricität den Körper zu verlassen heisst *elektrische Spannung*.

Stehen demnach die einzelnen Punkte der Oberfläche eines Körpers von dessen Mittelpunkt nicht gleich weit ab, so wird an den entfernteren Stellen mehr Elektricität angehäuft sein, als an einem dem Centrum näher liegenden Punkte. Während daher auf einer Kugel die Dichte und somit auch die Spannung der Elektricität überall gleich gross ist, wird dieselbe auf einem eckigen Körper an den Ecken und Kanten am grössten sein.

Bei elektrischen Apparaten können hohle Metallkörper angewendet werden. Warum? An welchen Stellen eines Cylinders, eines Kegels wird die meiste Elektricität angesammelt sein?

Fig. 50.



52. Elektrische Vertheilung. Freie und gebundene Elektricität. Versuch *a*). Ein Messingcylinder A (Fig. 50), welcher an den Enden kugelförmig abgerundet ist und an einer Seite mit Hollundermarkpendelchen versehen ist, werde mittelst eines Glasstabes gut isoliert und vertical gehalten. Man nähere ihm den negativ elektrischen Körper B , aber nicht bis zur Berührung, selbst nicht so weit, dass ein Funke überspringt. Die Pendelchen divergieren, auch wenn ein schlechter Leiter z. B. eine Glasscheibe zwischen A und B sich befindet. Die Divergenz ist am stärksten unten und oben, und nimmt gegen die indifferente Stelle c ab. Die unteren Pendelchen zeigen $+E$, die oberhalb c dagegen $-E$. Wird B allmählig entfernt, so nimmt die Divergenz der Pendelchen ab und verschwindet endlich ganz, um bei der Annäherung des B wieder aufzutreten. B erleidet hiebei keinen Elektricitätsverlust ausser jenen

an die umgebende Luft. Wiederhole den Versuch mit einem positiv elektrischen Körper. Hieraus folgt:

1. *Jeder Körper enthält von Natur aus beide Elektricitäten gleichmässig in sich vereinigt*, so dass sie sich in ihren Wirkungen aufheben, d. h. einander das Gleichgewicht halten. (Vgl. §. 50.)

2. *Ein Körper erscheint positiv elektrisch, wenn $+E$ in ihm das Uebergewicht erhält*; dagegen ist er *negativ elektrisch*, wenn $-E$ im Überschusse vorhanden ist.

3. *Ein elektrischer Körper hebt in einem andern unelektrischen, dem er entsprechend genähert worden, das elektrische Gleichgewicht auf*, indem er die mit der seinigen gleichnamige Elektricität des letzteren Körpers in dessen entferntere Theile abstösst, die ungleichnamige in dessen nächste Theile anzieht. Man nennt diesen Vorgang *elektrische Vertheilung* (Influenz).

4. *Die vertheilende Wirkung eines elektrischen Körpers äussert sich nur innerhalb eines bestimmten Raumes, welcher der elektrische Wirkungskreis* (Atmosphäre) genannt wird.

Versuch *b*). Berührt man *A* an irgend einer Stelle ableitend, während er noch im Wirkungskreise von *B* sich befindet, so verschwindet die Divergenz der oberen Pendelchen, jene der unteren wird grösser. Wird nach aufgehobener Ableitung *B* entfernt, so divergieren sämtliche Pendel mit $+E$. Wiederhole dasselbe, wenn *B* $+E$ enthält.

5. *Die bei der Vertheilung in dem erregten Körper auftretenden Elektricitäten unterscheiden sich noch dadurch, dass die eine durch die ungleichnamige des erregenden Körpers festgehalten, gebunden wird, während die andere ableitbar, also frei ist.*

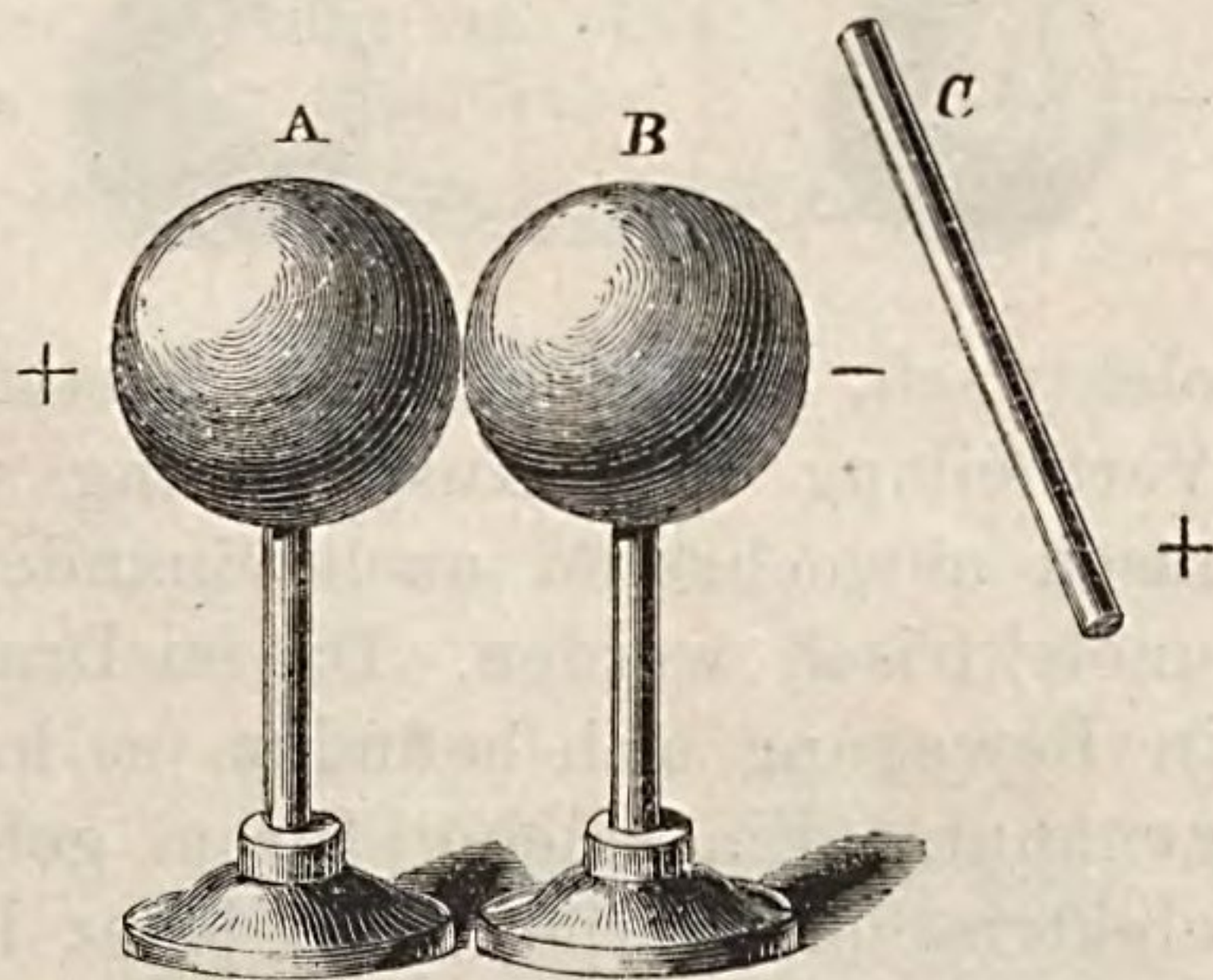
6. *Ein Körper, welcher mit der Erde ableitend in Verbindung steht, kann durch Vertheilung Elektricität erhalten, welche jener des erregenden Körpers entgegengesetzt ist.*

Der Unterschied zwischen freier und gebundener Elektricität ist kein wesentlicher, denn die am Körper *A* früher gebundene Elektricität wird ableitbar, also frei, sobald *B* entfernt ist. Man nennt auch den Überschuss, welchen ein Körper an $+E$ oder $-E$ besitzt, freie Elektricität im Gegensatze zu derjenigen, welche nicht nach aussen wirksam auftritt und daher gebunden heisst. — Was hat die elektrische Vertheilung mit der magnetischen gemein und wodurch unterscheiden sie sich? — Die elektrische Vertheilung untersuchten zuerst der Engländer Canton (1753–59), der Schwede Wilke und der Deutsche Arpinus.

53. Folgerungen aus der elektrischen Vertheilung. Versuch *a*).

Zwei gleich grosse isolierte Metallkugeln *A*, *B* (Fig. 51) berühren einander; der Kugel *B* werde ein positiv elektrischer Körper *C* ge-

Fig. 51.

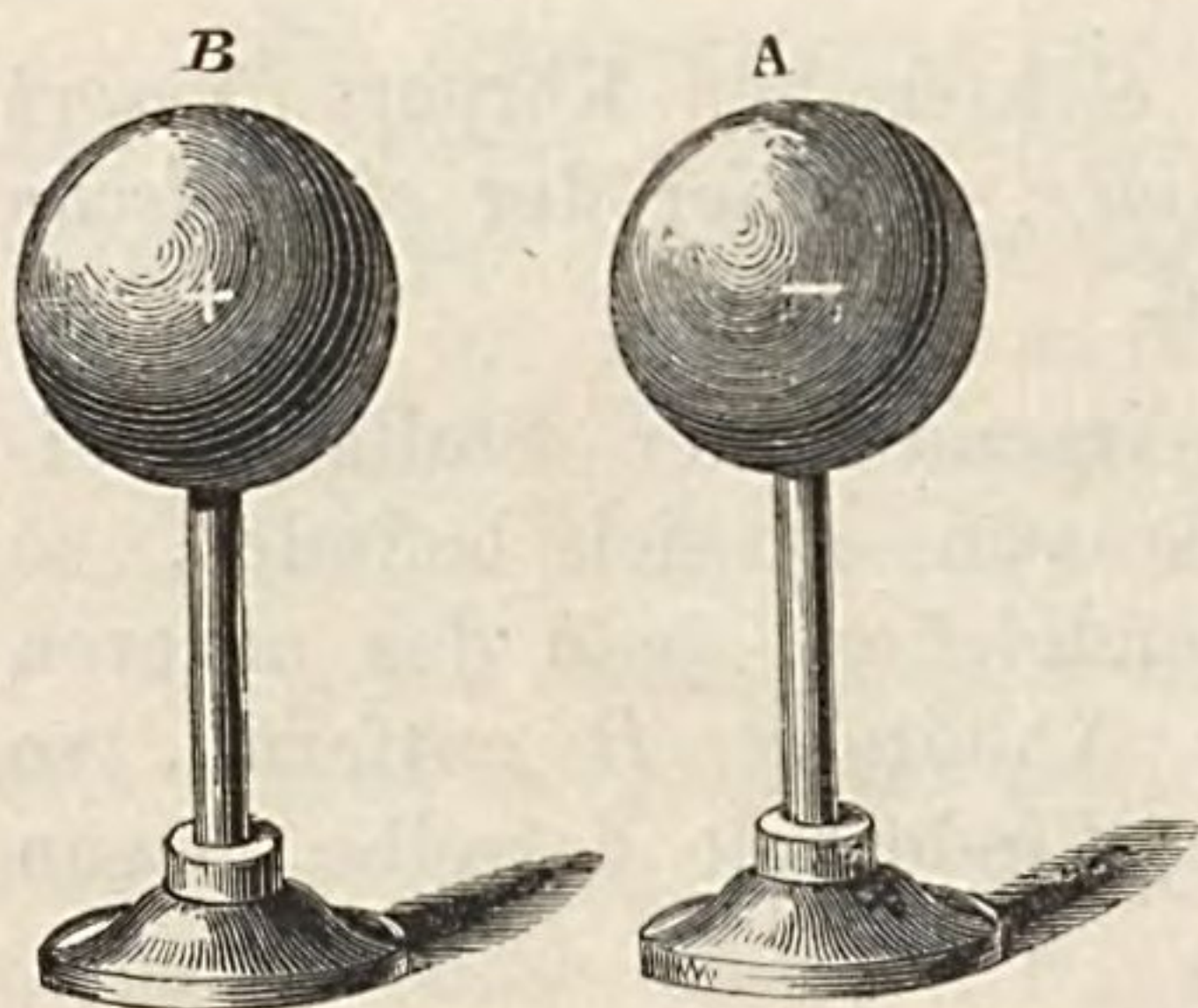


nähert. Zieht man A isoliert weg und entfernt hierauf C ; so zeigt A nun $+E$, B dagegen $-E$. Wird B jetzt dem A auf eine kleine Distanz genähert, so springt durch die trennende Luftschicht ein Funke über und beide Kugeln sind dann unelektrisch oder entladen.

Der elektrische Funke entsteht also in Folge der Vereinigung der durch einen schlechten Leiter getrennten entgegengesetzten Elektricitäten. Die Entfernung, bis zu welcher der Funke überspringt, heisst die *Schlagweite*. Dieselbe hängt von der Dichte der Elektricität ab, wesshalb sich aus Spitzen u. dgl. (vgl. §. 51) sehr leicht elektrische Funken ziehen lassen.

Versuch b). Nähert man der unelektrischen isolierten Kugel A die positiv elektrische Kugel B , so wirkt diese auf jene vertheilend (Fig. 52) und bei entsprechender Entfernung springt wieder

Fig. 52.



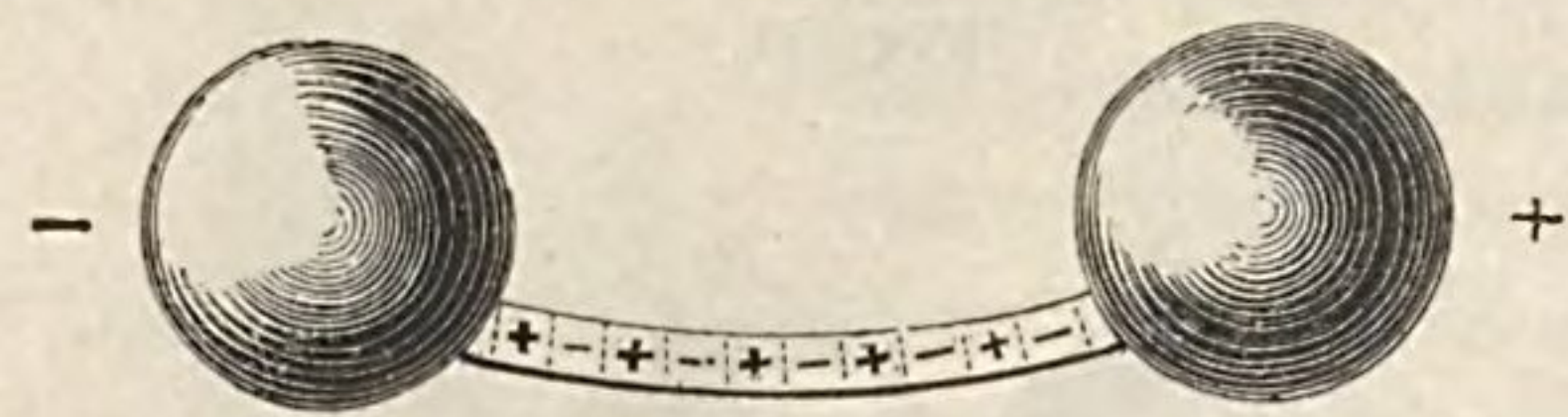
ein Funke über, indem $-E$ des A mit einem Theil $+E$ des B sich vereinigt. Desshalb erscheint nun B schwächer elektrisch als vorher, A dagegen ist sodann positiv elektrisch. Die Schlagweite wird grösser, wenn die $+E$ des A durch einen guten Leiter zur Erde abgeleitet wird; B wird aber in diesem Falle nahezu vollständig entladen.

Die elektrische Mittheilung lässt sich demnach auf die Vertheilung zurückführen. Ebenso ist ersichtlich, dass die *Anziehung eines beweglichen unelektrischen Körpers nur die Folge der Anziehung ungleichnamiger Elektricitäten* ist.

Ein schwach elektrischer Körper kann in Folge der vertheilenden Wirkung eines gleichnamig aber stärker elektrischen Körpers angezogen werden. Nur die Abstossung entscheidet bestimmt über den elektrischen Zustand.

Verbindet man zwei gleich stark, aber entgegengesetzt elektrische Kugeln durch einen isoliert gehaltenen Kupferdraht (Fig. 53), so

Fig. 53.



gleichens sich ihre Elektricitäten ebenfalls aus, indem jede der Kugeln auf die benachbarten Drahttheile vertheilend wirkt. Die benachbarten entgegengesetzten Elektricitäten vereinigen sich, der Leiter wird un-

elektrisch, der elektrische Zustand der Kugeln wird geschwächt. Die Vertheilung und Ausgleichung wiederholen sich im Drahte äusserst rasch abwechselnd nach einander, so dass die Kugeln augenblicklich unelektrisch werden. Da im Drahte die beiden Elektricitäten gleichsam in Bewegung sich befinden, so hat man den Vorgang *elektrischen Strom* genannt. Ein solcher Strom geht vom positiv, der andere vom negativ elektrischen Körper aus; jener heisst der *positive*, dieser der *negative Strom*. Gewöhnlich wird nur der erstere in's Auge gefasst, wie wir es auch in der Folge thun werden. Der elektrische Strom pflanzt sich äusserst schnell fort; so hat man gefunden, dass derselbe

in einem Kupferdrahte während einer Secunde einen Weg von etwa 61.000 österr. Meilen zurückgelegt. Die Fortpflanzung des Stromes geht übrigens um so schneller vor sich, einen je geringeren Leitungswiderstand derselbe zu überwinden hat; letzterer hängt aber von der materiellen Beschaffenheit des Leiters ab, wächst genau so wie die Länge, und nimmt so ab wie der Querschnitt des Leiters.

54. Elektroskop. Zur Prüfung schwacher Elektricitäten wendet man das *Goldblattelektroskop* von Bennet (1787) an (Fig. 54). Dasselbe besteht aus zwei Goldblättchen 1, 2, welche an dem keilförmigen Ende eines Messingdrahtes so angehängt sind, dass sie sich der Länge nach berühren. Der Draht trägt oben die am Rande gut abgerundete Metallscheibe *A* und ist in einer Glasröhre *a b* gut isoliert befestigt. Um den Luftzug abzuhalten, werden die Goldblättchen von einem Glasgefässe *B* umgeben, in welches man ein Schälchen mit Chlorcalcium gibt, um die Luft zu trocknen. Oft ist auch ein Gradbogen angebracht um den Ausschlag zu messen, welchen die Goldblättchen zeigen, wofern *A* mit einem elektrischen Körper berührt wird. Bei der Untersuchung schwach elektrischer Körper wird *A* mit diesen berührt; die Blättchen divergieren mit der gleichnamigen Elektricität. Stark elektrische Körper nähert man bloss der Platte *A*, damit sie auf letztere vertheilend wirken. Je nachdem die Divergenz der Goldblättchen bei Annäherung einer mit Seide geriebenen Glasstange grösser oder kleiner wird, waren sie vorhin positiv oder negativ elektrisch. Mit dem Elektroskop kann man also die Stärke und die Art der Elektricität eines Körpers ermitteln.

Fig. 54.

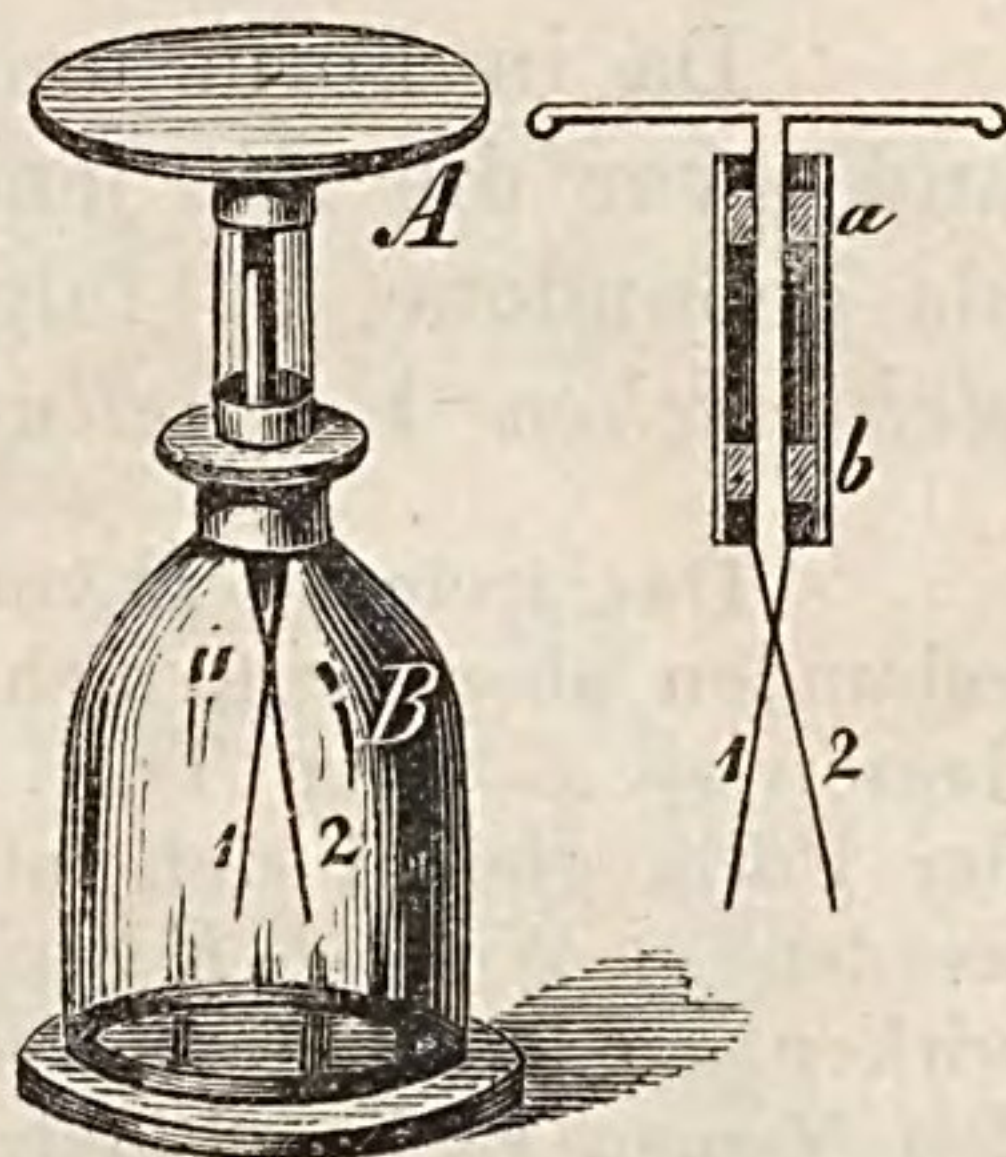
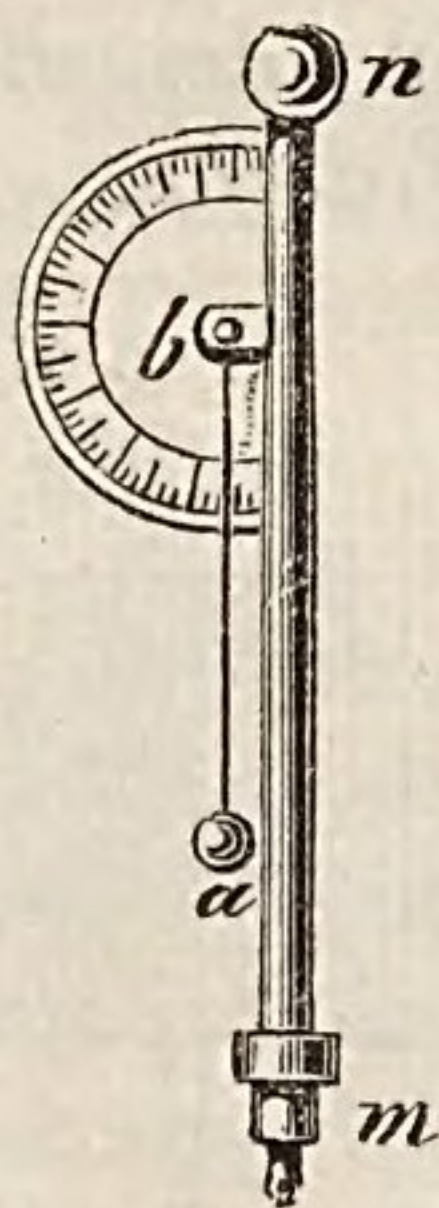


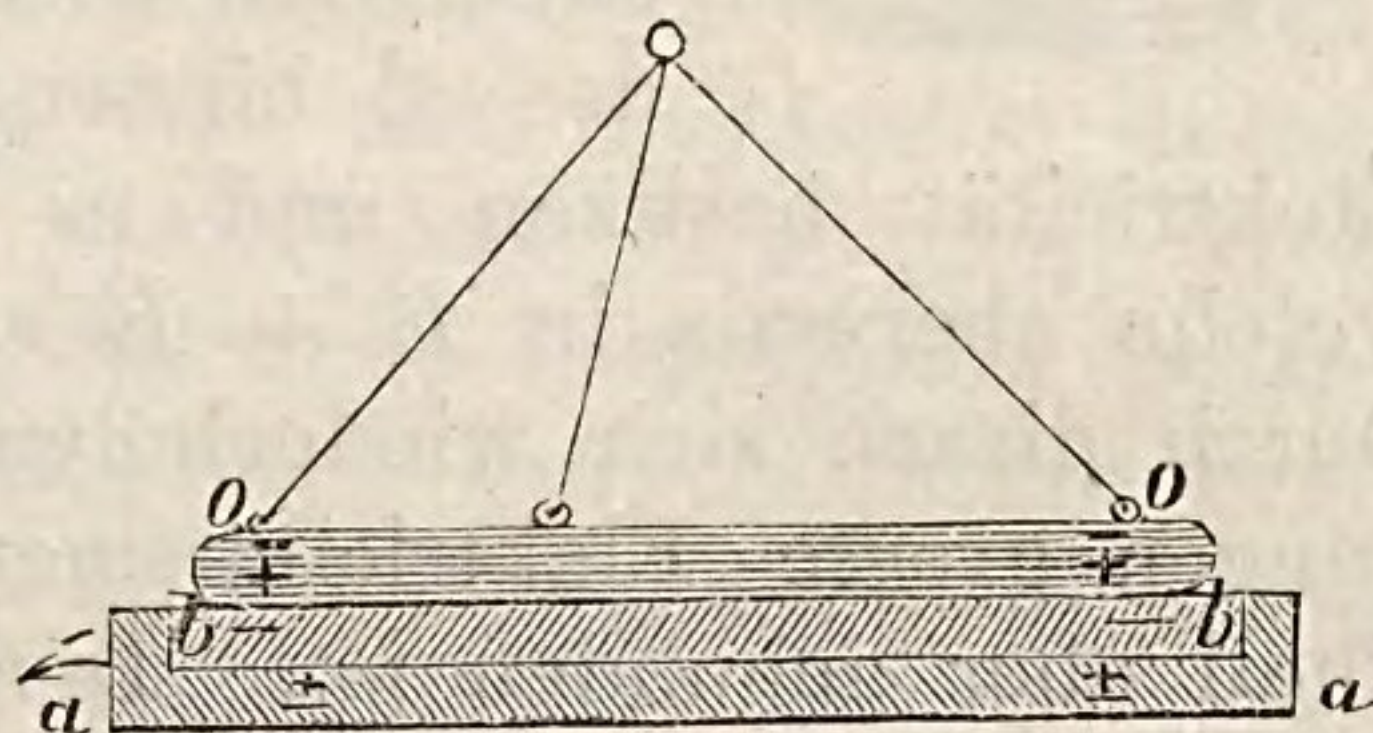
Fig. 55.



Das Quadranten-Elektroskop von Henley (Fig. 55) wird zur Beurtheilung kräftiger Elektricitäten verwendet und besteht aus einem Holzstabe *m n*, welcher einen getheilten Halbkreis aus Buchsbaumholz trägt, in dessen Mittelpunkt ein Pendelchen *a b* aus Fischbein und einem Korkkugelchen befestigt ist. Die Vorrichtung wird auf den zu untersuchenden Körper gesteckt.

55. Der Elektrophor besteht (Fig. 56) aus der flachen metallischen Form *aa*, aus dem Harzkuchen *bb* (8 Theile Colophonium, 1 Th. Schellack, 1 Th. venetianischer Terpentin) und dem metallischen Deckel *oo*, welcher mittelst Seidenschnüren isolirt aufgehoben werden kann.

Fig. 56.



Versuch *a*). Peitscht man den Kuchen mit einem Fuchsschwanz, so wird derselbe negativ elektrisch; die Form, wenn sie isolirt ist, zeigt freie — *E*. Ist *aa* mit der Erde leitend verbunden, und liegt der

Deckel auf dem Kuchen, so dass er aa nirgends berührt, so zeigt er freie $-E$, welche abgeleitet wird, wenn man mit dem Knöchel aus oo einen Funken zieht, oder, was noch besser ist, wenn man oo mit der Hand berührt. Wird hierauf der Deckel isoliert abgehoben, so erweist er sich positiv elektrisch; zieht man aus ihm einen Funken, so wird er wieder unelektrisch. Dieselben Erscheinungen wiederholen sich, wenn man den Versuch nach einander anstellt. Der Deckel zeigt sich unelektrisch, wenn er vor der Berührung mit der Hand isoliert abgehoben wird.

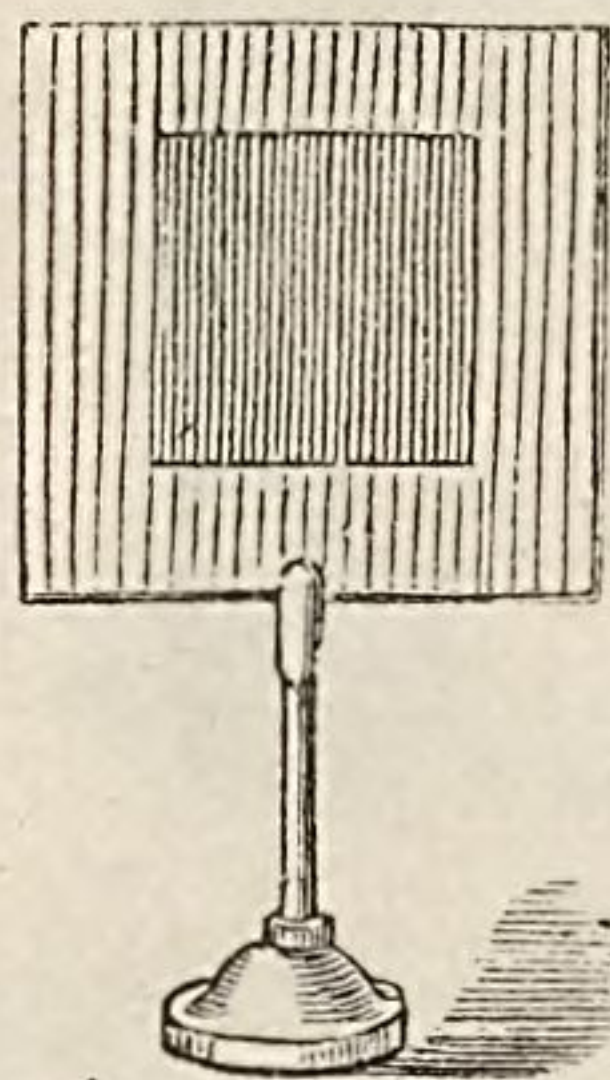
Versuch b). Berührt man die Form mit einem Finger und nähert den Knöchel eines andern dem aufliegenden Deckel, so verspürt man einen Stich und oo zeigt nachher $+E$, es hat also sein $-E$ sich mit $+E$ der Form verbunden.

Da in Form und Deckel beide Elektricitäten zugleich auftreten, und zwar die mit jener des Kuchen gleichnamige als freie, die andere als gebundene, so folgt, dass *die Wirkung des Elektrophors auf der elektrischen Vertheilung beruht*.

Das freie $-E$ von aa fliesst ab, sein $+E$ wird durch $-E$ des Kuchens gebunden aber nicht mehr vollständig, wenn der Deckel aufgelegt wird, weil dessen $+E$ einen Theil $-E$ des Kuchens bindet. Die so frei gewordene $+E$ der Form gleicht sich mit $-E$ des Deckels aus, wenn beide leitend verbunden werden. — Weil $+E$ von Form und Deckel auf $-E$ des Kuchens bindend zurückwirken, so behält letzterer seine Elektricität sehr lange; daher hat die Vorrichtung den Namen Elektricitätsträger. Derselbe wurde von Wilke erfunden und vom Italiener Volta 1775 verbessert.

56. Die Verstärkungsgläser dienen dazu, um auf einer Fläche möglichst viel, also Elektricität von grosser Spannung anzuhäufen und dadurch kräftige Wirkungen hervorzubringen. Zu denselben gehört die *Franklin'sche Tafel* und die *Leydner Flasche*. Jene besteht aus einer Glastafel (Fig 57), welche zu beiden

Fig. 57.



Seiten mit Stanniol belegt ist, so dass nur ein Rand von 1—2'' frei bleibt, welcher mit Schellack überzogen ist, um ihn schlecht leitend zu machen. Wird die Belegung A z. B. mit einem positiv elektrischen Körper C in leitende Verbindung gebracht, so wird A positiv elektrisch und wirkt durch das Glas hindurch auf die zweite Belegung B vertheilend ein (Vgl. §. 52), indem $-E$ derselben angezogen und gebunden, $+E$ aber abgestossen wird. B zeigt daher freie positive Elektricität, welche mit einem Drahte zur Erde abgeleitet wird. Die $-E$ des B wirkt auch auf $+E$ des A bindend zurück, daher wird A nur wenig freie Elektricität besitzen und es strömt von C neuerdings $+E$ über, welche abermals in B $-E$ anzieht und bindet, $+E$ aber abstösst. Durch diesen sich wiederholenden Vorgang werden auf beiden Belegungen grosse Elektricitätsmengen angesammelt, wovon der grössere Theil aber gebunden ist. Der Übergang der Elektricität von C auf A dauert jedoch nur so lange, bis die Spannung der freien $+E$ auf A so gross ist als auf C . Legt man z. B. an A den einen Knopf des mit einer isolierenden Handhabe gehaltenen Ausladers (Fig. 58) und nähert

den zweiten Knopf, welcher mit dem ersten metallisch verbunden ist, der Belegung B , so springt ein heller, mit einem Knalle verbundener Funke über, indem sich die entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen vereinigen. Die Tafel heisst dann entladen.

Die *Leydnerflasche* (Fig. 59) ist eine Glasflasche, welche innerlich und äusserlich bis auf einen schmalen Streifen am Rande metallisch belegt ist; der unbelegte Theil ist mit Siegelack überzogen. Der Metallknopf steht durch einen Draht oder eine Kette mit der inneren Belegung in Verbindung, und bildet also einen Theil von dieser. Beim Laden, welches so wie bei der Franklin'schen Tafel vor sich geht, verbindet man die äussere Belegung leitend mit der Erde, indem man z. B. die Flasche in der Hand hält, und berührt den Knopf mit einem positiv elektrischen Körper, die innere Belegung erhält dann $+E$, die äussere $-E$. Mehrere Leydnerflaschen deren äussere Belegungen unter einander, und deren innere Belegungen mit einander metallisch verbunden sind, bilden eine elektrische Batterie.

Die Verstärkungsgläser werden nicht sehr kräftig geladen, wenn die eine Belegung nicht ableitend berührt wird. — Ist die Ladung sehr stark, so durchbrechen die beiden Elektricitäten oft das Glas, um sich zu vereinigen, wobei das Glas durchbohrt wird. — Bei der Entladung mittelst des Ausladers geht ein elektrischer Strom von der positiven zur negativen Belegung, welcher Entladungsstrom genannt wird. — Die Leydner oder Kleist'sche Flasche wurde von Kunäus in Leyden, und von Kleist zu Kamin in Pommern (1745) erfunden.

57. Die Elektrisiermaschine dient zur Entwicklung grösserer Elektricitätsmengen und besteht der Hauptsache nach aus dem Reiber, dem Reibzeuge und dem Ansammler oder Conductor. Der Reiber ist eine Scheibe R (Fig. 60) aus geschliffenem Spiegelglas, welche mittelst einer gläsernen horizontalen Axe und einer Kurbel gedreht werden kann. Das Reibzeug wird von der Glassäule f getragen und besteht aus zwei Lederkissen, die mit einer dünnen Lage von Amalgam überzogen sind und mittelst Stahlfedern an die Scheibe sanft angedrückt werden. Die Kissen sind mit einem Streifen Wachstaffet tt verbunden, der sich beim Drehen an die Scheibe anlegt und den Übergang der Elektricität an die Luft verhindert. Der Ansammler C besteht aus einer messingenen Hohlkugel. Diese Kugel wird von einer Glassäule g getragen und besitzt zwei Holzringe d , welche an der gegen die Scheibe gekehrten Seite mit Metallstiften versehen sind, die mit dem Conductor durch Stanniol in leitender Verbindung stehen. Auf dem Conductor wird häufig ein Holzring b gesetzt, der inwendig von einer Drahtspirale durchzogen ist. Ausserdem ist noch der Funkenzieher N beigegeben, welcher aus einer grösseren und kleineren Messingkugel besteht; diese zwei Kugeln sind durch einen von Draht durchzogenen Holzstab verbunden und werden von einem Glasstabe l getragen.

Bei der Drehung erhält die Scheibe $+E$, das Reibzeug $-E$; damit diese sich nicht wieder vereinigen, ist letzteres mit der Erde in

Fig. 58.

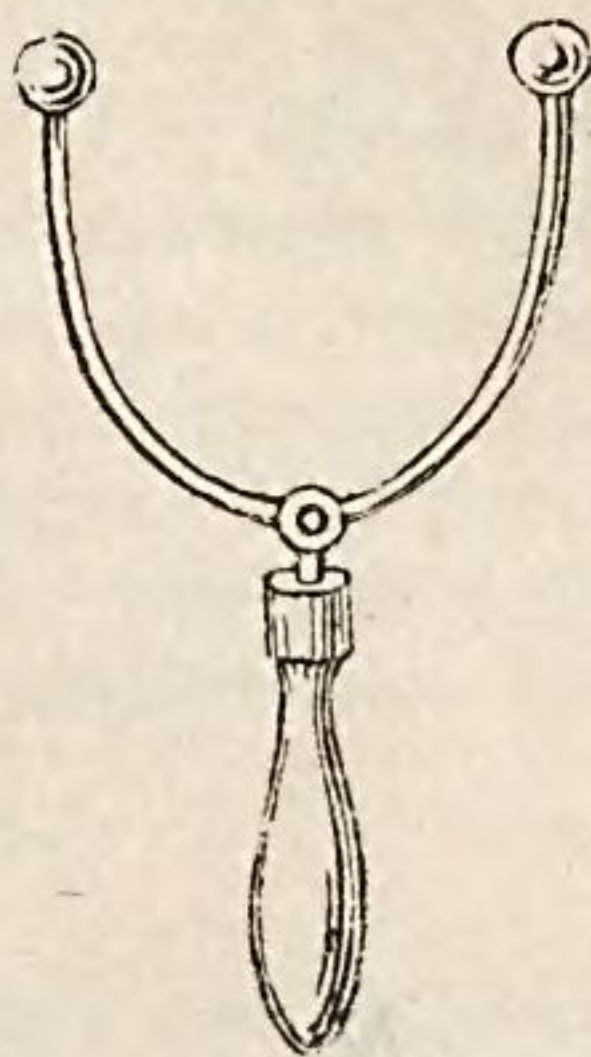
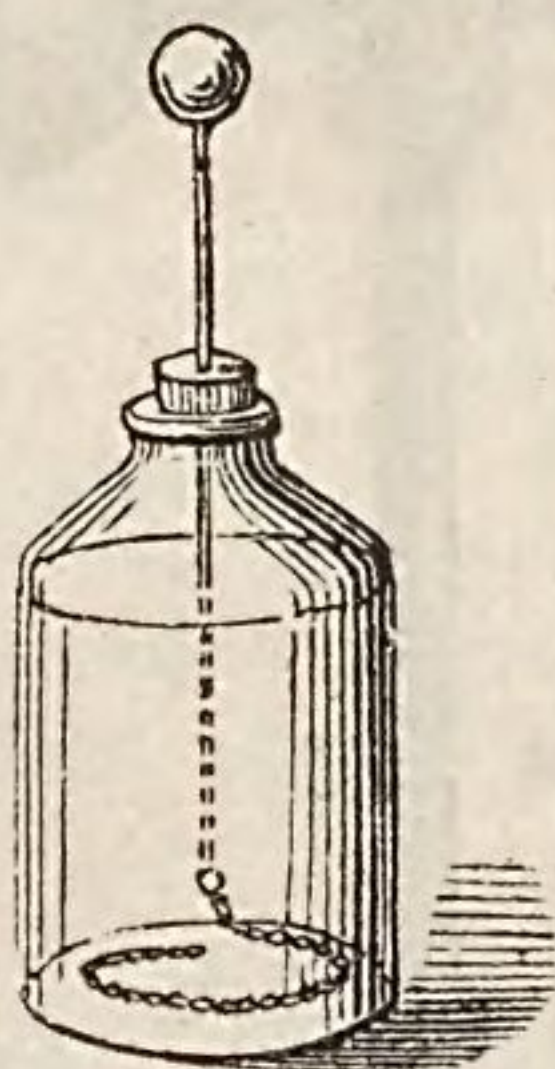
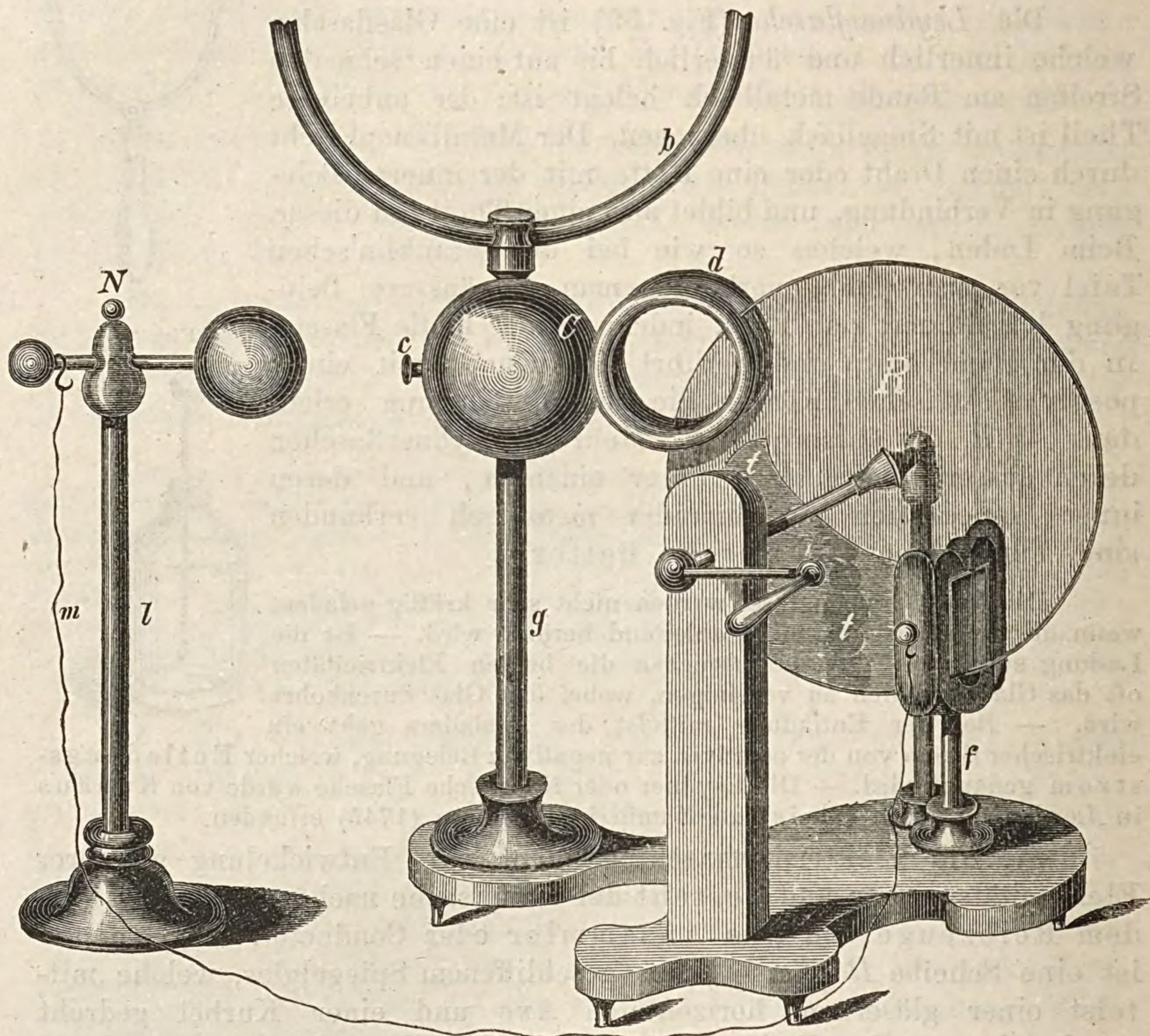


Fig. 59.



gut leitende Verbindung zu setzen. Durch die vertheilende Wirkung der Scheibe auf die Spitzen von *d*, wird der Conductor positiv elek-

Fig. 60.



trisch. Will man — *E* ansammeln, so muss man den Conductor *C* mit der Erde verbinden und den Conductor des Reibzeuges isoliert lassen. Man kann jedoch nicht beliebig viel Elektrizität anhäufen, denn setzt man z. B. Henley's Elektroskop auf *C*, so nimmt das Pendel bald eine bestimmte Ruhelage ein, ein Beweis dass *C* jetzt an die Umgebung eben so viel Elektrizität verliert, als ihm durch die Scheibe zugeführt wird.

Vor dem Gebrauche muss man die Scheibe durch Reiben mit Kreide und Seide gut reinigen, die Glasfüsse gut abtrocknen. Eine zur Elektrizitätsentwicklung dienende maschinenartige Vorrichtung verfertigte zuerst Otto von Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, 1650; dieselbe bestand aus einer Schwefelkugel, welche sich um eine Axe drehen liess und an der hohlen Hand gerieben wurde. Um 1744 fertigten die deutschen Physiker Hausen und Winkler in Leipzig, Bose in Wittenberg die ersten Elektrisiermaschinen mit Reiber, Reibzeug und Conductor an. Die oben beschriebene Einrichtung erhielt die Elektrisiermaschine von Winter in Wien.

58. Versuche über die Wirkungen der Elektrizität. a) Elektrischer Funke.

Stellt man den Funkenzieher, welcher mit dem Reibzeuge durch den Draht *m* leitend verbunden ist, dem Knopfe *c* des Conductors *C* gegenüber, so springen von diesem helle weisse zickzackförmige Funken über, die sich oft verästeln. Nach der Schlagweite kann man die Leistungsfähigkeit der Maschine beurtheilen; sie wird durch den Ring *b* sehr vergrössert. Funken springen auch in jeden dem Conductor genäherten Körper über. Knall und Knistern werden von der durch den Funken plötzlich zertheilten und rasch wieder zusammenströmenden Luft verursacht. Im luftverdünnten Raume ist die Schlagweite grösser; der Funke breitet sich aus und ist blass violett. Elektrisches Ei. Geissler'sche Röhren. Die Farbe des Funkens hängt von der Dichte und materiellen Beschaffenheit des Gases ab, durch welches er schlägt. Blitztafel.

b) Spitzenwirkung.

Zieht man den Knopf *c* stärker aus, so sieht man im Dunkeln ein violettes Lichtbüschel, insbesondere wenn dem Knopfe die Hand gegenüber gehalten wird. Setzt man eine Metallspitze auf den Conductor, so zeigt sich an ihr ein kleines Lichtbüschel; hält man aber die Spitze dem Conductor gegenüber, so nimmt man an ihr nur ein gleichförmiges Glimmen wahr. Hierin erkennen wir einen neuen Unterschied zwischen der positiven und der negativen Elektrizität; denn im ersten Falle ist die Spitze positiv, im zweiten Falle aber durch Vertheilung negativ elektrisch. In beiden Fällen zeigt das Elektrometer nur einen sehr geringen oder gar keinen Ausschlag, indem die Spitze eine rasche Ausgleichung der $+E$ des Conductors mit der durch Vertheilung erregten $-E$ der Luft oder der Spitze bewirkt. Es hat dabei den Anschein als ob Elektrizität aus der Spitze ausströmte. Spitzen sind also an Körpern, wo Elektrizität angesammelt bleiben soll, zu vermeiden. Elektrisches Flugrad.

c) Wärmewirkungen.

Der elektrische Funke entzündet Äther, erwärmten Weingeist, Wasserstoffgas. Elektrische Pistole. Lässt man auf einen Draht der über einem mit dem Reibzeuge verbundenen Metallschälchen endet, Funken vom Conductor überspringen, so entzündet sich der im Schälchen befindliche Äther, nicht aber wenn *C* durch einen dicken Draht mit dem Reibzeuge ununterbrochen verbunden ist. Die Elektrizität folgt also dem besten Leiter. Donnerhaus. Wird in den Schliessungsdraht, welcher die beiden Belegungen einer geladenen elektrischen Batterie verbindet, ein kurzer, sehr dünner Eisendraht eingeschaltet, so wird derselbe bei Entladung der Batterie glühend und schmilzt bei einer kräftigen Ladung. Man kann daher den elektrischen Funken auch zur Entzündung von Minen benützen.

d) Physiologische Wirkungen.

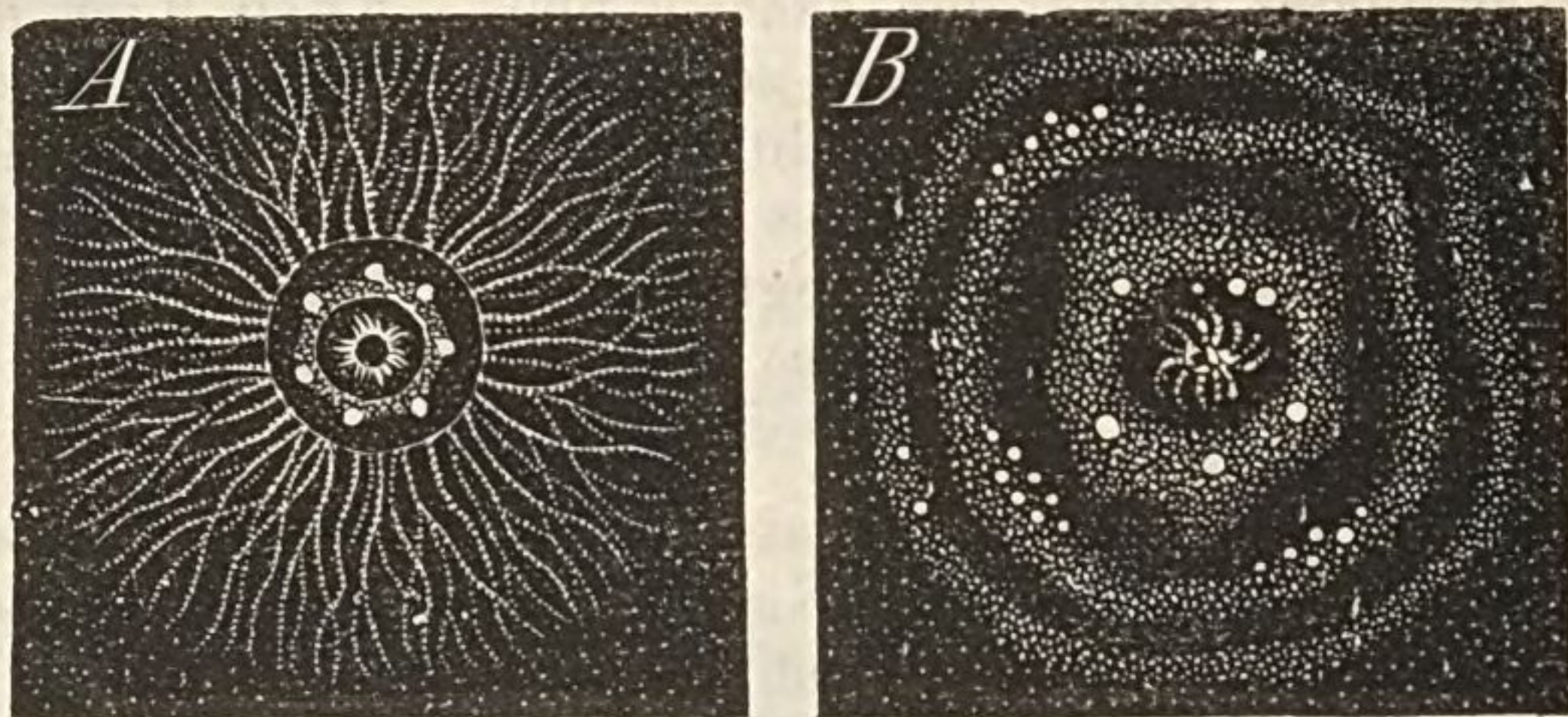
Nimmt ein Mensch den kleineren Knopf des Funkenziehers in die eine Hand und in die andere einen Draht, welcher mit dem Reibzeug verbunden ist, so verspürt er eine Erschütterung in den Armgelenken, den elektrischen Schlag, so oft vom Conductor auf den Funkenzieher ein Funke überspringt. Die Erschütterungen sind sehr heftig, wenn mehrere Menschen, sich die Hände reichend, einen Kreis schliessen, und der erste die innere, der letzte die äussere Belegung einer kräftig geladenen Leydnerflasche berührt. Diese Erschütterungen durch den Entladungsschlag können sogar tödtlich werden.

e) Mechanische Wirkungen.

Auf der elektrischen Anziehung und Abstossung beruhen der elektrische Hagel, das Glockenspiel, der Puppentanz. Die Haare eines Menschen sträuben sich, wenn dieser auf dem Isolierschemel steht und mit der Hand den Conductor berührt; aus seinem Körper lassen sich Funken ziehen. Befestigt man auf einer Glastafel mittelst Wachs zwei Nadeln einander gerade gegenüber, verbindet durch einen Leiter die eine mit dem Funkenzieher, die andere mit dem Reibzeuge und lässt auf jenen einen Funken überspringen, so wird das Glas durchbohrt. — Setzt man auf einen Harzkuchen eine Metallspitze isoliert gehalten auf, und berührt sie mit dem positiv elektrischen Knopfe der geladenen Leydnerflasche, hebt die Spitze ab und streut mittelst eines Beutels Mennig- und Schwefelpulver darauf, so entsteht

die strahlige Figur *A* (Fig. 61); dagegen bildet sich die ringförmige Figur *B* mit rother Sonne, wenn der Spitze — *E* mitgetheilt worden ist. Es sind diess die Lichtenberg'schen Figuren, welche einen neuen Unterschied der beiden Elektricitäten zeigen. In Folge des Beutelns wird der Schwefel negativ, der Mennig positiv elektrisch; das Pulver sammelt sich an den entgegengesetzt elektrischen Stellen des Kuchens an

Fig. 61.



f) Chemische Wirkungen.

Man legt auf eine Glasplatte zwei Stanniolstreifen, auf jeden einen Platindraht, so dass zwischen den Enden der beiden Drähte ein kleiner freier Zwischenraum bleibt, welcher mit etwas Kupfervitriollösung ausgefüllt wird. Wird nun der eine Platindraht mit dem Conductor, der andere mit dem Reibzeug leitend verbunden und die Elektrisiermaschine gedreht, so scheidet sich an dem mit dem Reibzeug verbundenen Draht reines Kupfer ab. — Der Sauerstoff der Luft wird durch die Elektricität in einen ganz eigenthümlichen Zustand versetzt, wodann er Ozon heisst und die Ursache eines eigenthümlichen Geruches wird. Hält man einen Papierstreifen, der in mit Jodkalium versetzten Stärkekleister getränkt worden ist, einer Spitze des positiven Conductors gegenüber, so wird es durch das Ozon gebläut, indem Jod ausgeschieden wird. Mit solchem Papiere bestimmt man auch den Ozongehalt der Luft; den Grad der Bläuung des Papiere ermittelt man dabei nach einer Farbenscala vom schwächsten bis zum dunkelsten Blau, d. i. nach dem sogenannten Ozonometer.

g) Magnetische Wirkungen.

Wird der Schliessungsleiter einer Leydnerflasche, in welcher eine feuchte Schnur eingeschaltet ist, parallel über eine Magnetnadel gehalten, so wird bei der Entladung die Magnetnadel abgelenkt. — Wird eine Glasröhre mit einem dünnen, gut übersponnenen und gefirnisssten Kupferdraht umwickelt und in die Röhre eine unmagnetische Nähnaedel gelegt, so wird dieselbe magnetisch, wenn durch den Draht mittelst der Elektrisiermaschine ein elektrischer Strom durchgeleitet wird.

Durch die Reibungselektricität werden demnach Licht-, Wärme-, physiologische, mechanische, chemische und magnetische Wirkungen hervorgebracht.

59. Das Gewitter. Schon die Beschaffenheit und die Wirkungen des Blitzes verglichen mit jenen des elektrischen Funkens lassen vermuthen, dass das Gewitter elektrischen Ursprungs sei. Franklin lieferte 1752 dafür den bestimmten Beweis, indem er einen mit einer Metallspitze versehenen Drachen in die Höhe steigen liess und dabei die Gewitterwolken in der That elektrisch fand. Indem man ferner auf Gebäuden mehrere Metallspitzen isoliert befestigte, und diese durch einen Draht mit einem empfindlichen Elektroskope verband, ergab sich dass die *Atmosphäre* überhaupt *elektrisch ist*. Man fand, dass die Luft zumeist positiv elektrisch ist, und zwar stärker bei heiterem, windstillem Wetter, schwächer bei trüber, feuchter und windiger Witterung. Wenn es stürmt, heftig regnet oder schneit, ebenso bei einem Ge-

witter, wechselt der positiv elektrische Zustand der Luft mit dem negativen oft rasch nach einander. Nebel und Wolken sind am häufigsten positiv, Regen und Schnee, vorzugsweise der Hagel sind bald positiv, bald negativ elektrisch. Diese Thatsache, sowie der Umstand, dass niemals ohne vorhergegangene starke Wolkenbildung ein Gewitter entsteht, dass das Gewitter mit heftigen, oft wirbelartigen Winden beginnt, von starken stossweisen Regengüssen, oft von Hagel begleitet ist, dass heftiger Regen-, Schnee- und Hagelfall nicht selten von Blitzen begleitet sind, beweisen hinreichend den wesentlichen Einfluss, welchen der Übergang der Dünste in den flüssigen und festen Zustand auf die Entstehung der Lufterlektricität und des Gewitters ausübt. Die mit Elektricität geladenen Gewitterwolken wirken natürlich auf benachbarte Wolken, sowie auf die Gegenstände der Erdoberfläche vertheilend ein. Der Blitz ist nur die Ausgleichung der Elektricität der Gewitterwolke, mit der in anderen Körpern durch Vertheilung erregten entgegengesetzten Elektricität. Der Blitz sucht immer auf die schnellste Weise zur Erde zu gelangen; er schlägt daher, weil selbst die feuchte Luft ein verhältnissmässig schlechter Leiter ist, gewöhnlich in die der Gewitterwolke nächsten, also in die höchsten Gegenstände ein und folgt weiter den besten Leitern. Daher erklärt sich der Nutzen der Blitzableiter, welche die Bestimmung haben, dem Blitze eine zusammenhängende metallische Leitung von dem höchsten Punkte eines Gebäudes bis zur feuchten Erdoberfläche darzubieten. Der Donner ist nichts als der Knall, von welchem der Funke der Elektrisiermaschine begleitet ist, im Grossen; er wird noch verstärkt durch den Wiederhall welchen Wolken, Berge u. s. w. veranlassen.

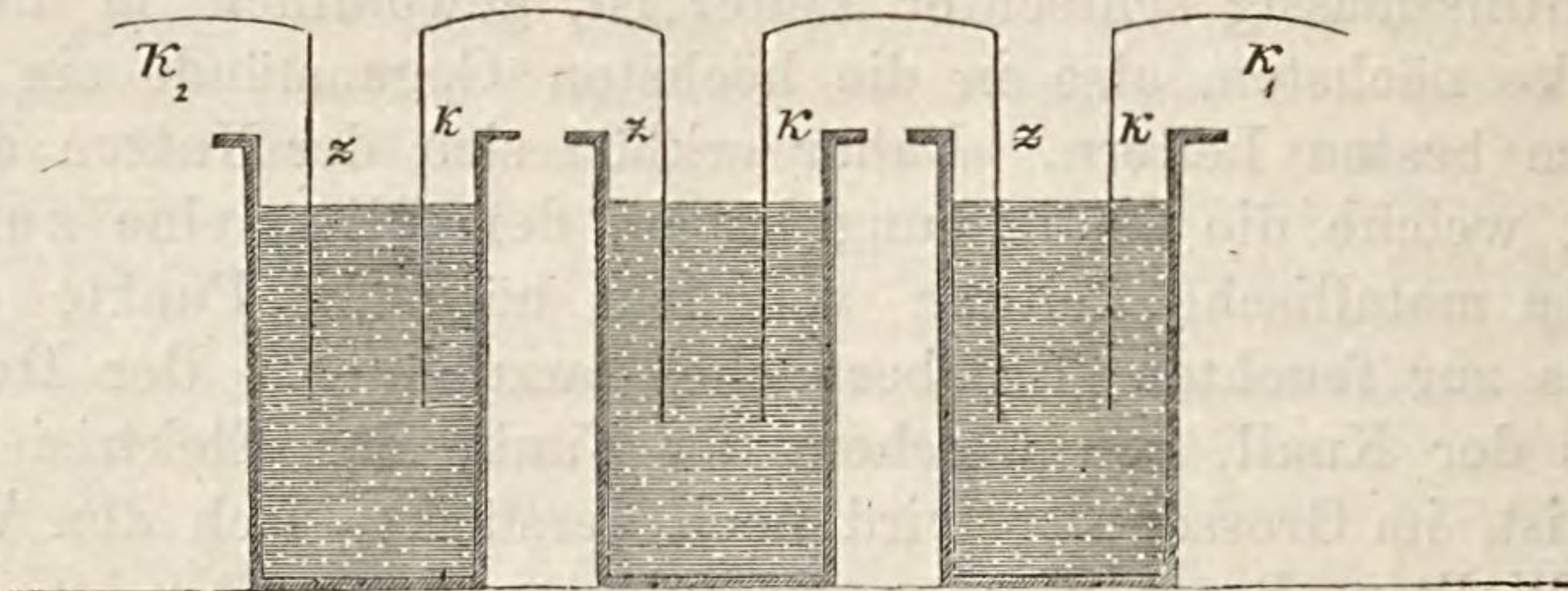
Die Gewitter sind im Sommer bei weitem häufiger; Wintergewitter gehören bei uns zu den Seltenheiten. Der Juli ist im allgemeinen der gewitterreichste Monat; in Deutschland beträgt die Zahl der jährlichen Gewitter durchschnittlich 18. Am häufigsten und heftigsten sind die Gewitter in der heissen Zone, wo sie besonders zur Regenzeit fast täglich eintreten; am seltensten sind sie in den Polargegenden. — Der Blitz schmilzt Metalle (Blitzröhren), zerschmettert und durchbohrt schlechte Leiter, entzündet brennbare Körper, tödtet Menschen und Thiere. Der eigenthümliche Geruch bei einem Gewitter rührt vom Ozon her. Man stelle sich nicht unter Bäume, nicht unter Kronleuchter, unter Drahtzüge; denn man füllt hier eine unterbrochene Leitung aus. — Der Blitzableiter, welchen Franklin erfunden hat, besteht aus der Auffangstange und der Ableitung. Jene besteht aus verzinktem Eisen und endet in eine vergoldete oder noch besser in eine Platinspitze; sie muss die höchsten Punkte des Gebäudes überragen. Ein langes Gebäude muss mehrere Auffangstangen haben, weil diese nur auf eine Entfernung schützen, welche etwa anderthalbmal so gross ist als die Höhe der Stange. Von der Auffangstange geht die metallische Ableitung über den First und das Dach des Hauses zur feuchten Erde. Dieselbe besteht gewöhnlich aus einer Eisenstange, welche etwa $\frac{3}{4}$ Quadratzoll im Querschnitt hat und durch einen Anstrich vor dem Rosten geschützt ist; sie darf nirgends unterbrochen sein, weil der Blitzableiter sonst mehr Gefahr als Nutzen bringt; auch müssen mit ihr grössere Metallmassen des Gebäudes leitend verbunden sein. Eine nahe Gewitterwolke macht den Blitzableiter durch Vertheilung elektrisch, die mit jener gleichnamige Elektricität fliesst zur Erde, die ungleichnamige strömt bei der Spitze aus und vereinigt sich mit jener der Wolke, wodurch diese langsam entladen wird. Daher springen zum Blitzableiter seltener Blitze über und wenn es geschieht, so wird die Elektricität rasch zur Erde abgeleitet (Rückschlag). — Das Wetterleuchten besteht in Blitzen ohne Donner; dasselbe rührt von entfernten Gewittern her, welche sich unterhalb des Horizontes ent-

laden. — Des Abends und des Nachts sieht man oft die Spitzen der Blitzableiter, Thürme und anderer Gegenstände leuchten; man nennt diese Erscheinung *Sct. Elmsfeuer*. Dasselbe ist eine Folge der vertheilenden Wirkung der Luftelektricität und der Spitzenwirkung. — Elektrischen Ursprungs ist wohl auch das *Nordlicht*. Dasselbe erscheint am Himmel der Polarländer als ein helleuchtender Lichtbogen, welcher ein dunkles Segment umschliesst, abwechselnd in gelben, rothen und violetten Farben spielt und von Zeit zu Zeit nach allen Richtungen Lichtstrahlen gegen das Zenith hin entsendet. Das *Nordlicht* ist bei uns nur selten sichtbar, erhellt aber den Bewohnern der Polarländer wenigstens theilweise die tagelangen Nächte, macht sich jedoch auch bei uns durch den störenden Einfluss auf den Gang der Magnetnadel bemerkbar.

B. Die Berührungselektricität (Galvanismus).

60. Volta's Batterie. Mehrere Gefässe sind mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt, in jedes eine mit Quecksilber überzogene oder amalgamierte Zinkplatte z (Fig. 62), und eine Kupferplatte k so eingetaucht, dass sich dieselben nirgends berühren, und rings von Flüssigkeit umgeben sind.

Fig. 62.



Die Kupferplatte des ersten Gefässes ist mit dem Zink des zweiten, das Kupfer des zweiten mit dem Zink des dritten Gefässes u. s. f. metallisch verbunden; an die freie Zink- und Kupferplatte sind Kupferdrähte k_1 , k_2 befestigt. Die Flüssigkeit in den Gefässen kann auch durch eine Kochsalzlösung oder eine andere verdünnte Säure, das Kupfer durch Silber, Platin oder durch gut ausgeglühte Kohle (Kohls) ersetzt werden. Die angegebene Vorrichtung besteht also aus einem flüssigen und zwei verschiedenen festen guten Elektricitätsleitern.

Versuch *a*). Werden die freien Enden der Drähte k_1 , k_2 in Berührung gebracht und wieder getrennt, so zeigt sich zwischen denselben ein elektrischer ähnlicher Funke, welcher lebhafter wird, wenn die Drahtenden amalgamiert sind. Verbindet man den einen Draht mit einer Feile und fährt über diese mit dem Ende des andern Drahtes rasch hin und her, so entsteht ein lebhaftes Funkensprühen.

Versuch *b*). Hält man die sich berührenden Drahtenden in der Hand, so verspürt man Wärme; verbindet man die Drähte durch einen dünnen, kurzen Eisendraht, so wird derselbe glühend und schmilzt.

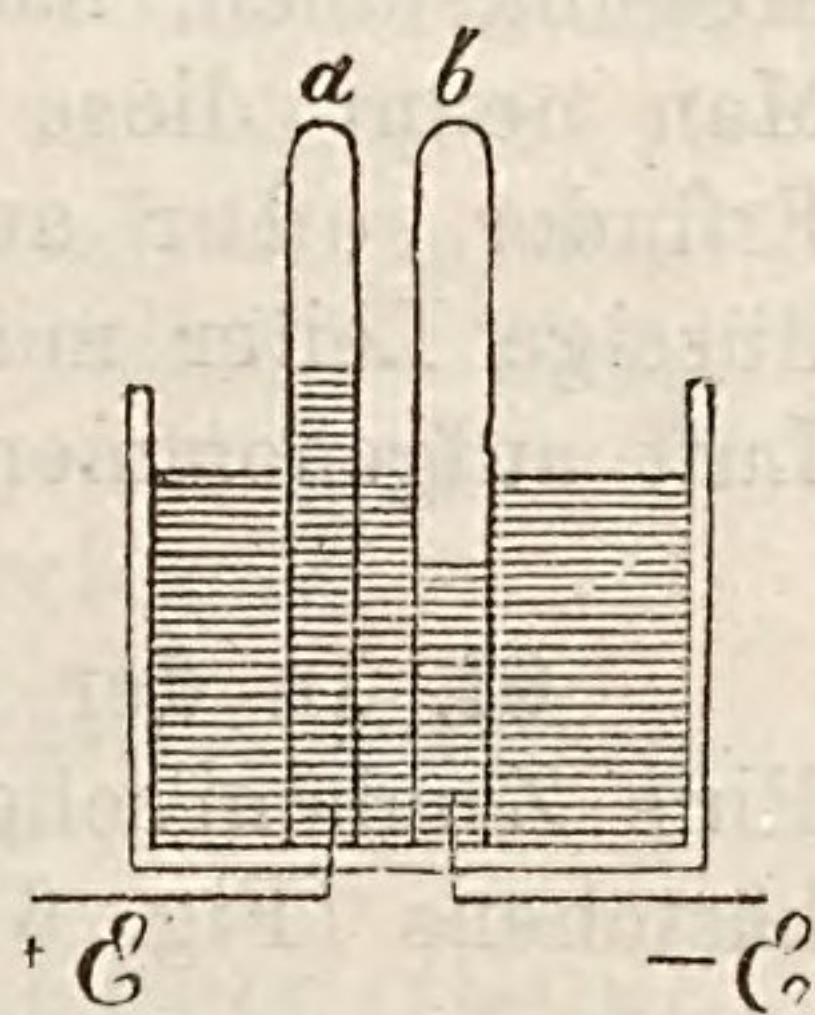
Versuch *c*). Legt man das metallisch reine Ende von k_1 auf die Zunge, so verspürt man in letzterer eine Zuckung und säuerlichen Geschmack, sobald k_2 unter die Zunge gehalten wird. Der Geschmack geht in einen laugenartigen über, wenn die Drähte ihre Lage wechseln. Berührt man mit einem Drahtende das befeuchtete Augenlid, mit dem

ändern das Zahnfleisch, so nimmt man einen blitzartigen Lichtschimmer wahr. Wird an k_1 ein Metallcylinder, ein zweiter an einem mit einer Feile verbundenen Kupferdraht befestigt und fährt man mit k_2 über die Feile rasch hin und her, so verspürt ein Mensch, welcher die Cylinder in den mit Salz- oder angesäuertem Wasser befeuchteten Händen festhält, in den Handgelenken Zuckungen.

Versuch *d*). Hält man einen Theil der mit einander verbundenen Drähte k_1, k_2 parallel über eine ruhende Magnetrudel, so wird dieselbe abgelenkt. Hält man ein Stück der verbundenen Drähte in Eisenfeilicht und zieht es wieder heraus, so bleiben Eisentheilchen daran hängen; diese fallen wieder herab, wenn die Drähte getrennt werden. Wickelt man um einen weichen Eisencylinder einen mit Seide umspunnenen Kupferdraht und verbindet die Enden des Drahtes mit k_1, k_2 , so wird das Eisen magnetisch und bleibt es, so lange die Drähte verbunden sind.

Versuch *e*). In dem Boden eines Glasgefäßes (Fig. 63) sind zwei Platinplättchen wasserdicht befestigt, das Gefäß ist mit angesäuertem Wasser gefüllt und über jedes Plättchen ein Wasser enthaltendes, einseitig verschlossenes Röhrchen *a, b* gestürzt. Werden k_1, k_2 mit den Platinplättchen metallisch verbunden, so steigen von diesen aus Glasblasen in den Röhrchen empor. Das über dem mit k_1 verbundenen Plättchen in *a* angesammelte Gas erweist sich als Sauerstoff, das andere in *b* als Wasserstoff; von diesem entwickelt sich in derselben Zeit zweimal so viel als von jenem. Das Wasser ist also in seine chemischen Bestandtheile zerlegt worden.

Fig. 63.



Mittelst der eingangs angegebenen Vorrichtung können also dieselben Wirkungen hervorgebracht werden, welche der den Verbindungsdraht des Conductors und des Reibzeuges einer im Gang befindlichen Elektrisiermaschine, oder welche der den Schliessungsdraht einer geladenen Leydner Batterie durchfließende elektrische Strom erzeugt. Aus der Gleichheit der Wirkungen müssen wir auf die Gleichheit der Ursachen schließen und daher die im Zustande der Strömung befindliche Elektrizität als die Ursache der bei den vorigen Versuchen auftretenden Erscheinungen ansehen. Da in dem gegenwärtigen Falle keine Reibung, sondern nur gegenseitige Berührung verschiedenartiger Körper stattfand; so ergibt sich das Gesetz:

Durch die gegenseitige Berührung zweier verschiedenen festen guten Elektricitätsleiter und einer Flüssigkeit wird Elektricität entwickelt. Mann nennt dieselbe *Berührungs-* oder auch *galvanische Elektricität* zum Unterschiede von der Reibungselektricität, obgleich sie von dieser nicht dem Wesen, wohl aber der Entstehungsweise nach verschieden ist.

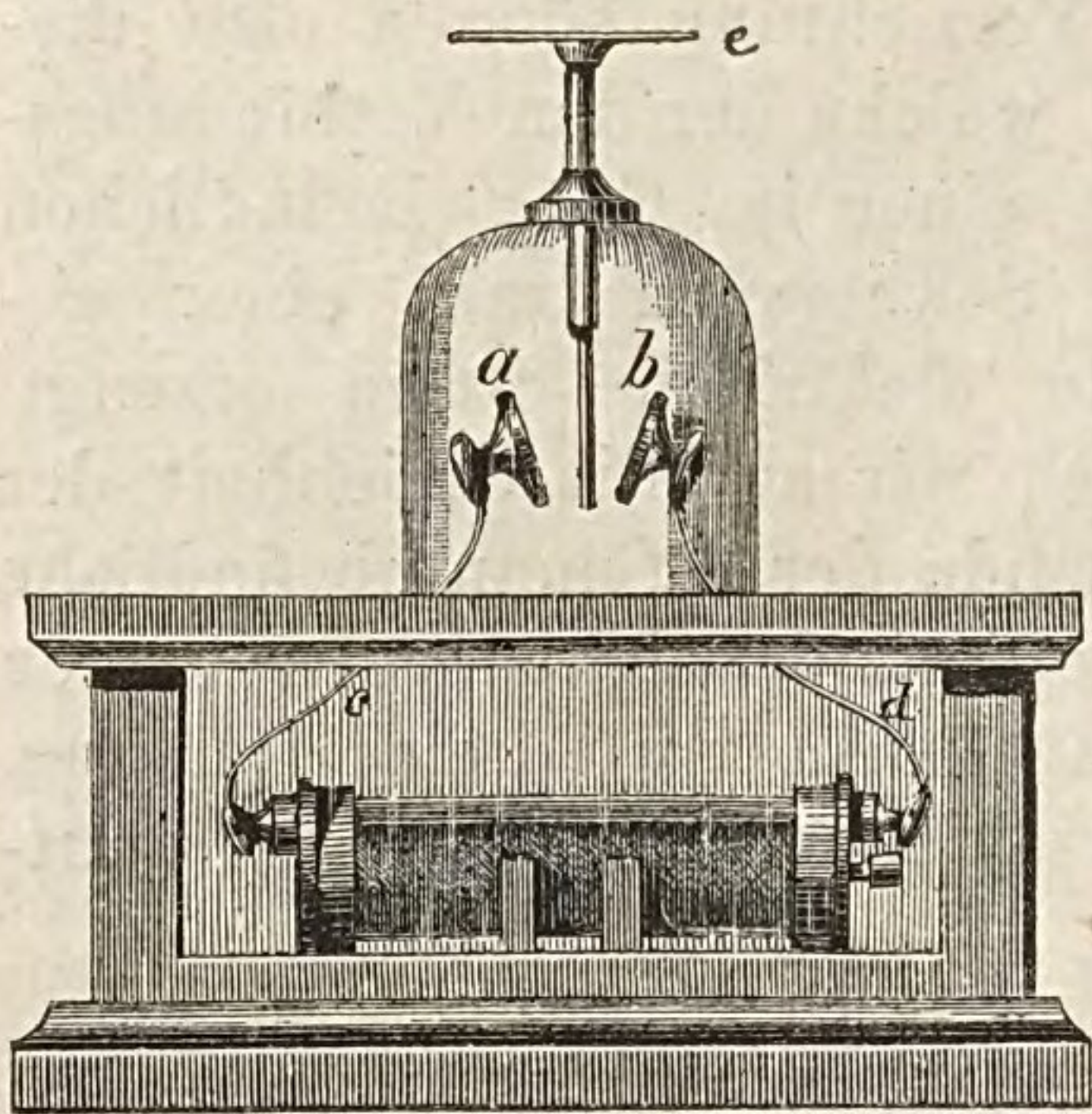
Die Berührungselektricität heisst auch galvanische Elektricität nach dem italienischen Arzte Galvani, welcher 1786 die erste darauf bezügliche Beobachtung machte.

Eine Verbindung von zwei festen guten Elektricitätsleitern mit einem flüssigen, wie ein jedes Gefäss mit seinem Inhalte in Fig. 62 sie darstellt, wird nach ihrem Erfinder Volta (1800) ein Volta'sches Element oder eine einfache Volta'sche Kette genannt. Mehrere solche Elemente in der oben angegebenen Weise mit einander verbunden bilden eine Volta'sche Batterie oder eine zusammengesetzte Volta'sche Kette. Die Kette oder auch ihr elektrischer Strom heisst geschlossen, wenn die freien Endplatten entweder unmittelbar, oder durch die Schliessungsdrähte k_1 , k_2 mit einander leitend verbunden sind; sonst ist die Kette geöffnet oder der Strom unterbrochen.

Man kann auch eine, freilich nur sehr schwach wirkende Batterie anfertigen, indem man unächtes Gold- (Kupfer) und Silber- (Zinn) Papier mit den unbelegten Seiten auf einander klebt, daraus kreisförmige Scheiben bildet und 1000—2000 solcher Scheiben in einer Glasröhre so übereinander legt, dass immer die Zinn- von den Kupferseiten berührt werden. Um die Scheiben fest zusammen zu pressen, sind auf die Röhre Messingkapseln aufgesetzt, die nach innen mit Messingstäben, nach aussen mit den Schliessungsstäben versehen sind. Man nennt diese Vorrichtung die Zamboni'sche Säule nach ihrem Erfinder, oder auch die trockene Säule, weil ihr scheinbar der flüssige Leiter mangelt; dieser ist aber durch die vom Papier aus der Luft aufgenommene Feuchtigkeit vertreten.

61. In der Volta'schen Batterie treten beide Elektricitäten auf. Eine Zamboni'sche Säule liegt horizontal auf dem Boden eines Glaskästchens (Fig. 64), aus dessen Deckel die mit den drehbaren Metall-

Fig. 64.



plättchen a, b verbundenen Schliessungsdrähte c, d hervorragen. Zwischen a, b hängt an einem isolierten Messingdraht, auf welchen eine Messingscheibe e aufgeschraubt ist, ein Goldblättchen herab, welches durch einen Glassturz vor dem Luftzug geschützt ist. Dieser Apparat ist das von Fechner verbesserte *Bohnenberger'sche Elektroskop*.

Versuch. Man richte a, b so, dass das Goldblättchen zwischen ihnen ruhig herabhänge, und nähere der Platte e eine mit Seide geriebene Harzstange; das Goldblättchen wird von b angezogen, welches durch d mit dem Kupferende der Zamboni'schen Säule in leitender Verbindung steht. Da das Goldblättchen durch die vertheilende Wirkung der Harzstange — E erhalten hat, so muss b , mithin auch die letzte Kupferscheibe der Zamboni'schen Säule freie $+E$ besitzen. Das Goldblättchen wird von a angezogen, wenn eine mit Seide geriebene Glasstange dem e genähert wird. Hieraus kann man wie vorhin schliessen, dass a , mithin auch die erste Zinnscheibe freie — E enthält.

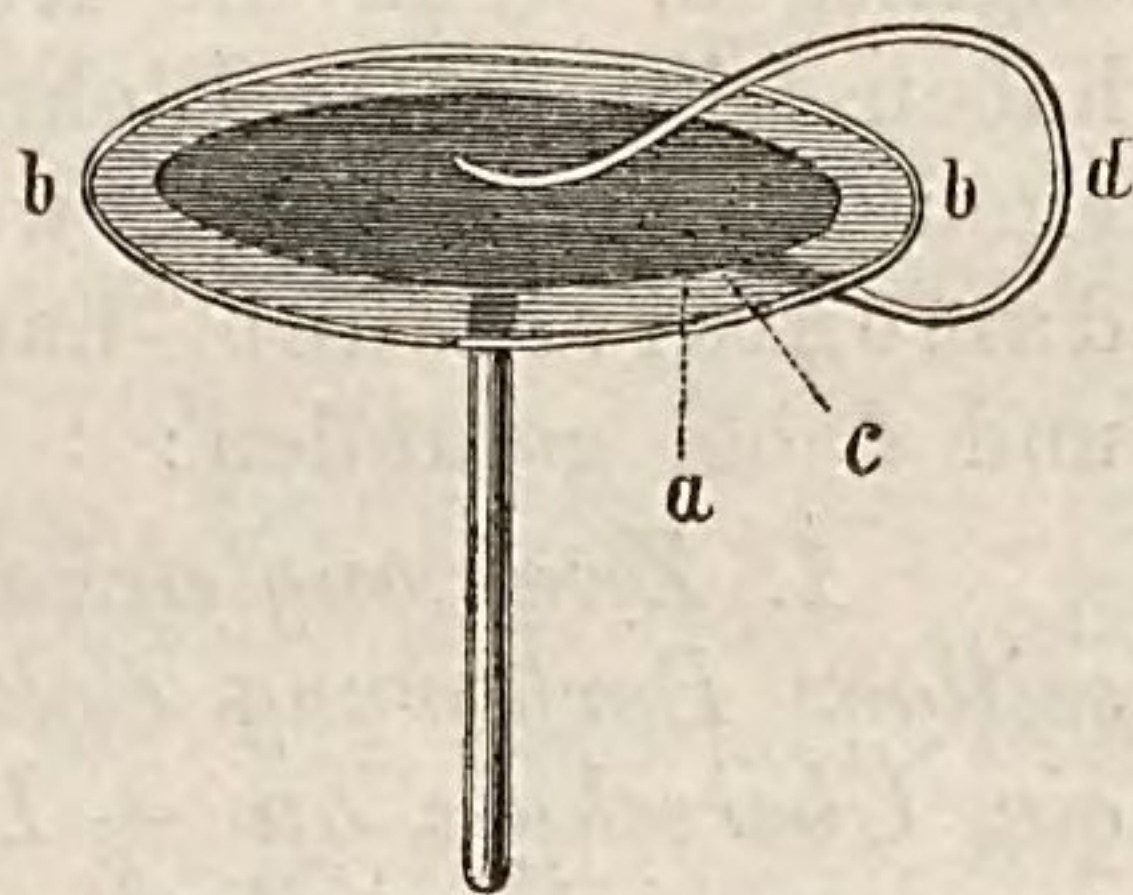
An den Endplatten der oben beschriebenen *Volta'schen Batterie* ist freie *Elektricität* und zwar an der einen (Kupfer, Silber, Platin, Kohle) freie $+E$, an der anderen (Zinn, Zink) freie $-E$ vorhanden, Die Enden einer Volta'schen Kette zeigen also in Beziehung auf einen elektrischen Körper einen ähnlichen polaren Gegensatz, wie die Pole eines Magnets einem dritten Magnetpole gegenüber; dieselben werden daher auch die Pole der Batterie genannt, und zwar heisst das positiv elektrische Ende der positive, das negativ elektrische aber der negative Pol. Die Schliessungsdrähte der Kette heissen deshalb auch die Polardrähte. Die Spannung der an den Polen vorhandenen freien Elektricitäten ist aber nur sehr gering.

Wird die Kette geschlossen, so gleichen sich (vgl. §. 53) die an den Polen vorhandenen Elektricitäten aus, und zwar um so rascher, ein je besserer Leiter den Schliessungsbogen bildet. Hiebei geht von dem positiven Pol der positive von dem andern Pole der negative Strom aus, von denen nur der erstere für die Folge in Betracht gezogen werden soll. Weil die Berührung der verschiedenen Leiter, d. i. die Ursache der Elektricitätsentwicklung in der Kette fortwirkt, so wird der an den Polen eingetretene Elektricitätsverlust beständig ersetzt werden. Mithin wird der Schliessungsbogen einer Volta'schen Batterie von einem anhaltenden elektrischen Strom, dem sogenannten *galvanischen Strom*, in ähnlicher Weise durchflossen, wie der Draht, welcher den Conductor mit dem Reibzeug einer im Gang befindlichen Elektrisiermaschine verbindet.

Warum bewegt sich das Goldblättchen des Fechner'schen Elektroskops zwischen *a* und *b* hin und her? Elektrisches perpetuum mobile. —

62. Fundamentalversuche über die Berührungselektricität.
Versuch *a*). Auf das Fechner'sche Elektroskop werde eine metallisch reine, eben abgeschliffene Zinkplatte *a* (Fig. 65) geschraubt und auf diese eine sehr dünne, am Rande mit Schellackfirnis überzogene Glasplatte *b* gelegt. Auf das Glas werde ein mit Wasser getränkte Scheibe *c* von ungeleimten Papier ausgebreitet und diese durch einen isoliert gehaltenen Zinkdraht *d* mit der Zinkplatte leitend verbunden. Wird der Draht isoliert entfernt, so zeigt das Elektroskop noch keine Elektricität an, wohl aber wenn das Glas von der Zinkplatte so abgehoben wird, dass dabei weder die letztere noch die Wasserschichte berührt wird. Das Elektroskop zeigt $-E$. Es muss also der Zinkdraht durch das Wasser negativ elektrisch erregt worden sein und diese $-E$ muss sich auch auf die Zinkplatte ausgebreitet haben. Da aber das Elektroskop nach Entfernung des Drahtes die $-E$ erst nachweist, wenn die Glasplatte abgehoben worden ist, so müssen wir schliessen, dass die $-E$ der Zinkplatte durch eine in dem Wasser enthaltene gleiche Menge $+E$ gebunden worden ist. Es ist auf dem Zink und Wasser wohl auch freie Elektricität vorhanden, dieselbe hat jedoch eine sehr

Fig. 65.



geringe Spannung. Der Erfolg bei diesem Versuche ist derselbe, mag man die Zinkplatte mit dem Wasser nur für einen Augenblick oder länger durch den Zinkdraht verbinden.

Wird das Zink durch andere Metalle und das Wasser durch andere Flüssigkeiten, Quecksilber ausgenommen, ersetzt, so findet man: In reinem Wasser werden die Metalle am stärksten Zink, negativ elektrisch erregt. In verdünnter Schwefelsäure werden Zink, Eisen, Kupfer in abnehmender Stärke negativ, Gold und Platin positiv elektrisch. In verdünnter Salpetersäure werden Zink und Eisen negativ, Platin und Gold positiv elektrisch. (Kupfer ist indifferent.) In concentrirter Salpetersäure wird Zink sehr schwach mit $-E$, Platin, Gold, Kupfer, Eisen werden mit $+E$ geladen.

Bei der Berührung einer Flüssigkeit mit einem Metalle wird Elektricität erregt, so zwar, dass jene mit der einen (z. B. mit $+E$) dieses mit einer gleichen Menge der andern Elektricität (z. B. $-E$) geladen wird. Man nennt solche Körper, welche durch blosse gegenseitige Berührung elektrisch werden, Elektromotoren (Elektricitäts-erreger), und schreibt ihnen die sogenannte elektromotorische Kraft zu. Letztere ist nur an der Berührungsstelle thätig; ihre Stärke ist von der Grösse der sich berührenden Flächen unabhängig, ändert sich aber mit der materiellen Beschaffenheit der Elektromotoren; so ist sie stärker zwischen Wasser und Zink, als zwischen Wasser und Kupfer.

Die elektromotorische Kraft wirkt gleichsam auf die sich berührenden Körper vertheilend ein, und führt einen bestimmten Theil der negativen Elektricität z. B. vom Wasser auf das Zink, und eine gleiche Menge $+E$ vom Zink auf das Wasser über.

Versuch b). Man schraube auf das Fechner'sche Elektroskop eine eben geschliffene metallisch reine Zinkplatte, stelle auf diese eine gleiche mit isolierender Handhabe versehene Kupferplatte. So lange die Platten sich berühren, zeigt das Goldblättchen keine Elektricität an; es wird aber vom negativen Pole der Säule angezogen, wenn die Kupferplatte parallel zu sich und isolirt abgehoben wird. Das Elektroskop zeigt $-E$ an, wenn die Platten untereinander verwechselt werden. Diesen sogenannten Volta'schen Fundamentalversuch hat man mit verschiedenen Metallen angestellt und dabei gefunden:

1. *Zwei ungleichartige feste gute Leiter erregen sich bei gegenseitiger Berührung elektrisch, so dass in dem einen z. B. im Zink, ein Überschuss an $+E$, in dem andern z. B. im Kupfer, ein eben so grosser Überschuss an $-E$ entsteht.*

2. *Die festen guten Leiter lassen sich in eine solche Reihe zusammenstellen, dass jeder voranstehende Leiter in Berührung mit einem folgenden positiv, dieser aber gleich stark negativ elektrisch wird.*

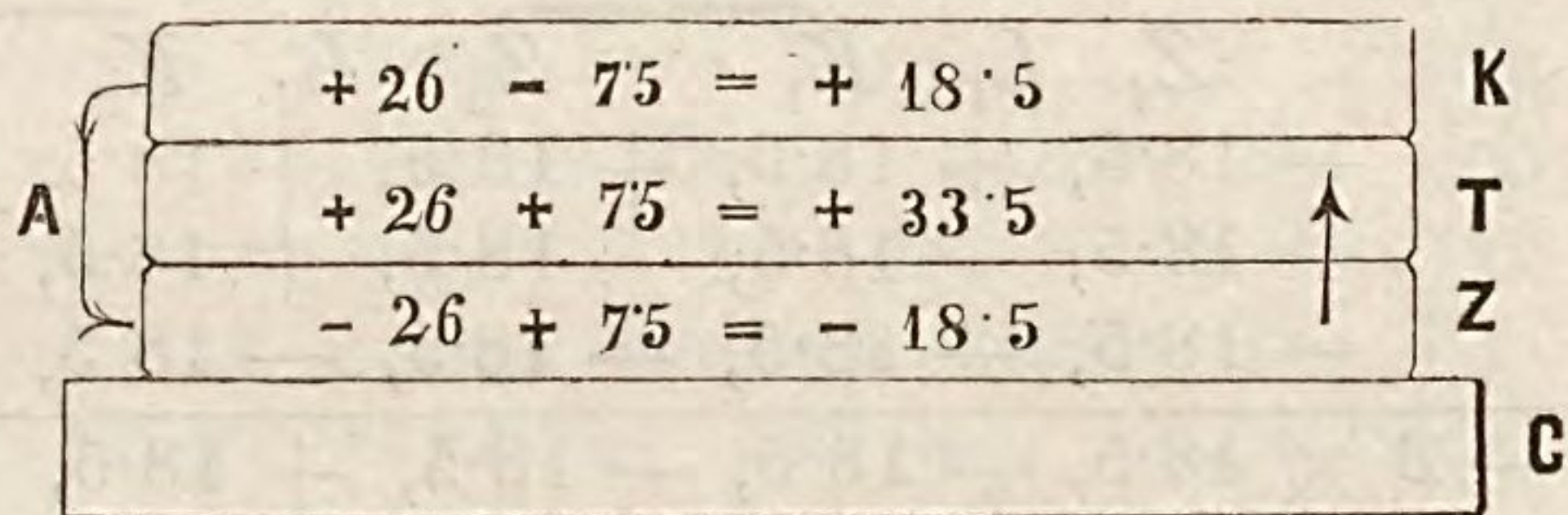
3. *Die zwischen zwei Gliedern dieser sogenannten Spannungsreihe thätige elektromotorische Kraft ist um so stärker, je weiter die Glieder von einander abstehen.*

Man nennt die Leiter, welche das Gesetz der Spannungsreihe befolgen, vorzugsweise Elektromotoren oder *Leiter der ersten Classe*, zum Unterschiede von den flüssigen oder *den Leitern der zweiten Classe*, welche jenes Gesetz nicht einhalten (Vgl. Versuch *a*). Die wichtigsten Leiter der ersten Ordnung, wie sie in der Spannungsreihe auf einander folgen, sind: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle.

Die verdünnte Schwefelsäure erregt das Zink negativ, sie müsste also in der Spannungsreihe vor dieses gesetzt werden; dann sollte aber durch sie das Platin noch stärker als das Zink negativ elektrisch werden. Das Platin wird jedoch durch die Schwefelsäure positiv erregt. Zink bildet gleichsam den positiven, Kohle den negativen Pol der Spannungsreihe. Zwischen welchen Gliedern der Spannungsreihe ist die elektromotorische Kraft am stärksten? —

63. Nähere Betrachtung der Volta'schen Kette. Denken wir uns auf eine Zinkplatte *Z* (Fig. 66), welche durch eine gläserne Unterlage *G* isoliert ist, eine dünne mit Wasser getränkte Tuchscheibe *T* gelegt. Durch die zwischen

Fig. 66.



Wasser und Zink thätige elektromotorische Kraft wird *Z* mit freier negativer, *T* mit eben so viel freier positiver Elektricität geladen. Nehmen wir z. B. die Elektricitätsmenge von *Z* mit $- 26$ an, so ist jene von *T* gleich $+ 26$ zu setzen. Denkt man sich nun auf *T* die Kupferplatte *K* gelegt, so erhalten wir eine einfache Volta'sche Kette. Es wird sich die Elektricitätsmenge $+ 26$ von *T* durch Fortleitung auch auf *K* verbreiten, wobei die zwischen *Z* und dem Wasser wirkende elektromotorische Kraft den in letzterem eingetretenen Verlust sogleich ersetzt. Zugleich wird in Folge der Berührung zwischen Wasser und Kupfer neuerdings Elektricität entwickelt, so dass z. B. jenes noch mit $+ 7.5$, dieses mit $- 7.5$ geladen wird. Das $+ 7.5$ wird von *T* auch auf *Z* fortgeleitet, und es hat daher das Zink freie $- E$ in der Menge $- 18.5$, das Kupfer ebenso viel freie positive Elektricität. Wird das Kupfer mit dem Zink durch einen Draht *A* verbunden, so gleichen sich die entgegengesetzten Elektricitäten aus; es kreist daher ein positiver Strom in der Richtung des Pfeiles. Dieser Strom wird ungeschwächt fortdauern, weil die ausgeglichenen Elektricitäten von der elektromotorischen Kraft gleich wieder zerlegt werden, vorausgesetzt, dass in dem Elemente keine Veränderungen eintreten, durch welche die elektromotorische Kraft vermindert oder gar aufgehoben wird. Bei der Schliessung des Elementes durch einen Kupferdraht wird auch noch die elektromotorische Kraft zwischen *Z* und *K* wirksam, wodurch beispielsweise *Z* mit der Elektricitätsmenge $+ 2$, das Kupfer mit $- 2$ geladen wird. In dem geschlossenen Elemente verhält sich daher die Sache derart als ob vom Kupfer durch den Schliessungdraht zum Zink positive Elektricität in der Menge $18.5 + 2 = + 20.5$ (in der entgegengesetzten Richtung gleich viel $- E$) kreisen möchte.

Wird auf das Kupfer des nicht geschlossenen Elementes $Z_1 L_1 K_1$ ein zweites gleiches Element $Z_2 L_2 K_2$ (Z , L , K bezeichnen Zink, flüssiger Leiter, Kupfer) gelegt, so erhält man eine aus zwei Elementen bestehende Batterie, die durch das Schema $Z_1 L_1 \overbrace{K_1 Z_2} L_2 K_2$ vorgestellt werden kann. Sehen wir von der Elektrizitätserregung zwischen Zink und Kupfer ab, so ist nach dem früheren Z_1 mit -18.5 und K_1 mit $+18.5$ geladen. $+18.5$ wird von K_1 auf $Z_2 L_2 K_2$ fortgeleitet, während von Z_2 das -18.5 sich auch über die Glieder des ersten Elementes verbreitet. Die Elektrizitätsvertheilung stellt sich daher auf den Platten in der Batterie wie folgt:

Z_1	L_1	K_1	Z_2	L_2	K_2	
-18.5		$+18.5$	$+18.5$		$+18.5$	vom 1. Element,
-18.5		-18.5	-18.5		$+18.5$	„ 2. „
-2×18.5		0	0	$+2 \times 18.5$		im Ganzen.

Bei drei Elementen ist die Elektrizität auf den Platten folgendermassen vertheilt:

Z_1	L_1	K_1	Z_2	L_2	K_2	Z_3	L_3	K_3	
-18.5		$+18.5$	$+18.5$		$+18.5$	$+18.5$		$+18.5$	v. 1. Elem.
-18.5		-18.5	-18.5		$+18.5$	$+18.5$		$+18.5$	„ 2. „
-18.5		-18.5	-18.5		-18.5	-18.5		$+18.5$	„ 3. „
-3×18.5		-18.5	-18.5	$+18.5$	$+18.5$	$+18.5$	$+3 \times 18.5$		im Ganz.

u. s. w. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Endplatten mit der Erde nicht ableitend verbunden sind. Die aus der Berührung von Zink und Kupfer entstehenden Elektrizitäten verbreiten sich genau in demselben Sinne wie die vorhin betrachteten, wesshalb sie zu den letzteren sich addieren. Wir sehen aus der ganzen Betrachtung:

1. Die an den Polen einer Volta'schen Batterie vorhandenen freien Elektrizitätsmengen wachsen gerade so wie die Anzahl der Elemente.

2. Die an den einzelnen Platten vorhandenen Elektrizitätsmengen nehmen gegen die Mitte der Batterie zu ab; der eine Theil der Kette ist positiv, der andere negativ elektrisch.

3. Wird die Kette durch einen Leiter geschlossen, so geht der galvanische Strom von dem in der Spannungsreihe zurückstehenden Leiter (Kupfer) durch den Schliessungsdraht zu dem in der Spannungsreihe voranstehenden Elektromotor (Zink) und von diesem wieder durch die Kette zu jenem.

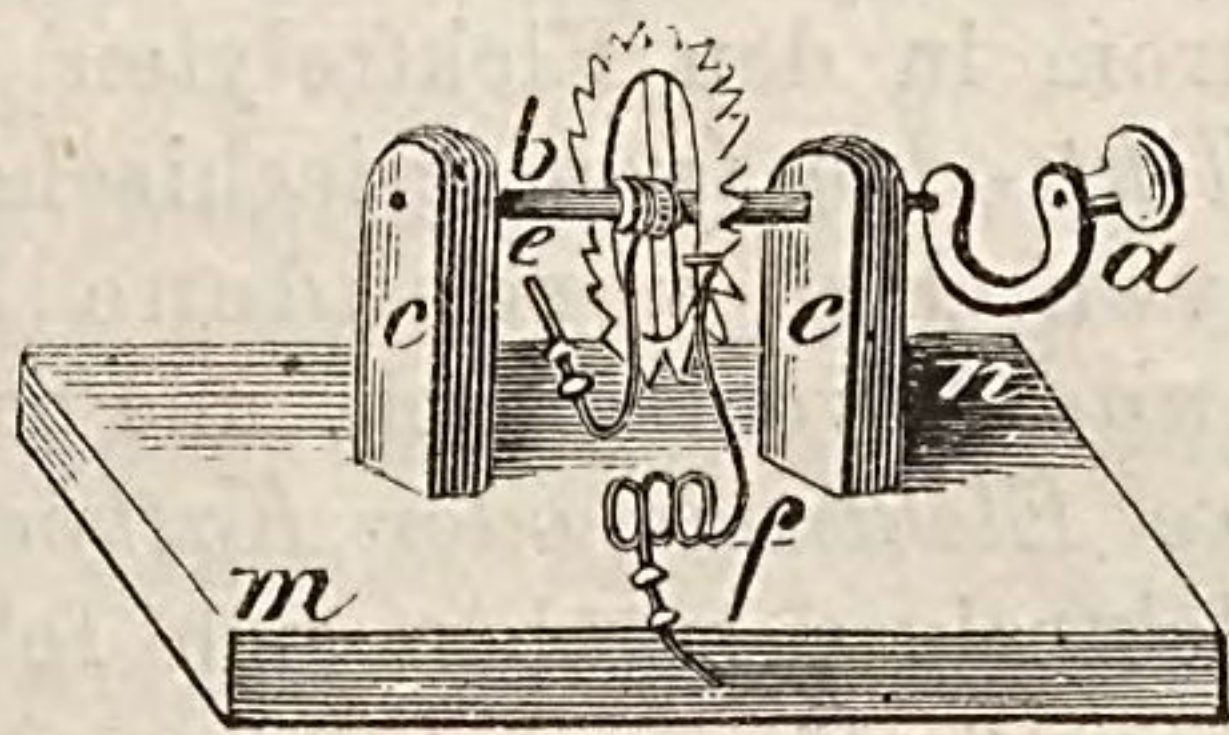
Das Gesagte gilt im allgemeinen auch dann, wenn das Wasser durch verdünnte Säuren oder Salzlösungen, und das Kupfer durch Silber, Platin, Kohle oder einen andern in Bezug auf Zink negativen Leiter der ersten Classe ersetzt werden. Die Menge der strömenden Elektrizität, nach welcher die Stromstärke zu beurtheilen ist, wird sich aber jedenfalls mit den Elektromotoren ändern, weil mit diesen auch die Stärke der elektromotorischen Kraft eine andere wird. So gibt eine Kette aus Zink und Platin bei sonst gleichen Umständen einen kräftigeren Strom als eine Kette aus Zink und Kupfer. Die Stärke des Stromes wächst auch, wenn man in der Kette das Wasser durch verdünnte Schwefelsäure ersetzt, wenn man die Anzahl der Elemente vermehrt und den Leitungswiderstand in der Kette und im Schliessungsbogen vermindert, also wenn man die Platten der Elemente und die Dicke der Schliessungsdrähte vergrößert und die letzteren verkürzt.

64. Galvanische Licht und Wärmewirkungen. Schon im §. 60 haben wir einige Licht und Wärmewirkungen des galvanischen Stromes kennen gelernt. Der galvanische Funke wird besonders lebhaft, wenn man die Enden der Polardrähte einer kräftigen Batterie mit Kohlen- (Kohks-) Cylindern verbindet, und die zugespitzten Enden letzterer mit einander in Berührung bringt. Es zeigt sich ein hellleuchtender Stern, welcher bei einer aus zahlreichen Elementen bestehenden Batterie in den galvanischen Flammenbogen übergeht, wenn die Kohlenspitzen nach stattgefundener Berührung etwas von einander entfernt werden. Der Flammenbogen, dessen Leuchtkraft jener des Sonnenlichtes zunächst kommt, ist bei horizontaler Lage der Kohlenspitzen nach oben gewölbt, weil die erwärmte Luft nach aufwärts strömt. Man hat gefunden, dass bei der Bildung des Flammenbogens Kohlentheilchen von einem Pole zum andern übergeführt werden und zwar vom positiven zum negativen Pole mehr als in umgekehrter Richtung. In der Luft verbrennt die Kohle; übrigens bildet sich der Flammenbogen auch im luftleeren Raume, im Stickgas, wo keine Verbrennung eintreten kann. Der Lichtbogen hat auch eine sehr hohe Temperatur, so dass man schwer schmelzbare Körper z. B. Platin flüssig machen, ja sogar Kohle verflüchtigen kann. Ferner hat sich ergeben, dass durch den Strom die schlechter leitenden Stoffe stärker erwärmt werden als die guten Leiter, dass die Erwärmung am positiven Pole grösser ist als am negativen, indem dieser vorzugsweise leuchtend wird.

Der elektrische Flammenbogen entsteht auch zwischen Metallspitzen, wird aber wegen des stärkeren Zusammenhanges der Metalltheilchen nicht so lebhaft als zwischen Kohlen. Von dem elektrischen Kohlenlichte macht man auf Leuchthürmen und in Theatern Anwendung. Der allgemeineren Benützung des Kohlenlichtes zur Beleuchtung grösserer Räumlichkeiten steht die Kostspieligkeit der Batterien so wie der Umstand entgegen, dass durch dasselbe ein zu grosser Gegensatz zwischen Licht und Schatten erzeugt wird. Das Erglühen der Drähte im galvanischen Strome benützt man zum Felsensprengen und zum Entzünden von Minen.

65. Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes. Hält man zwei an den Polardrähten einer starken Batterie befestigte Metallcylinder mit den feuchten Händen, so verspürt man eine Erschütterung in den Gelenken, so oft der Strom geschlossen oder geöffnet wird; beim Oeffnen ist die Wirkung stärker als beim Schliessen. Als Stromunterbrecher kann entweder eine Feile in in der §. 60 angedeuteten Weise, oder der in Figur 67 dargestellte Apparat verwendet werden. Am Umfange des Metallrädchens *b* schleift der elastische Draht *f*, während der Draht *e* mit der metallenen Achse in leitender Verbindung steht. Wird an *e* und an einem Polardrahte je ein Metallcylinder angeschraubt, *f* mit dem andern Pole der Kette verbunden und die Kurbel *a* rasch gedreht, so wird der Strom beim Überspringen der Feder *f* von einem Zahn zum andern unterbrochen und wieder

Fig. 67.



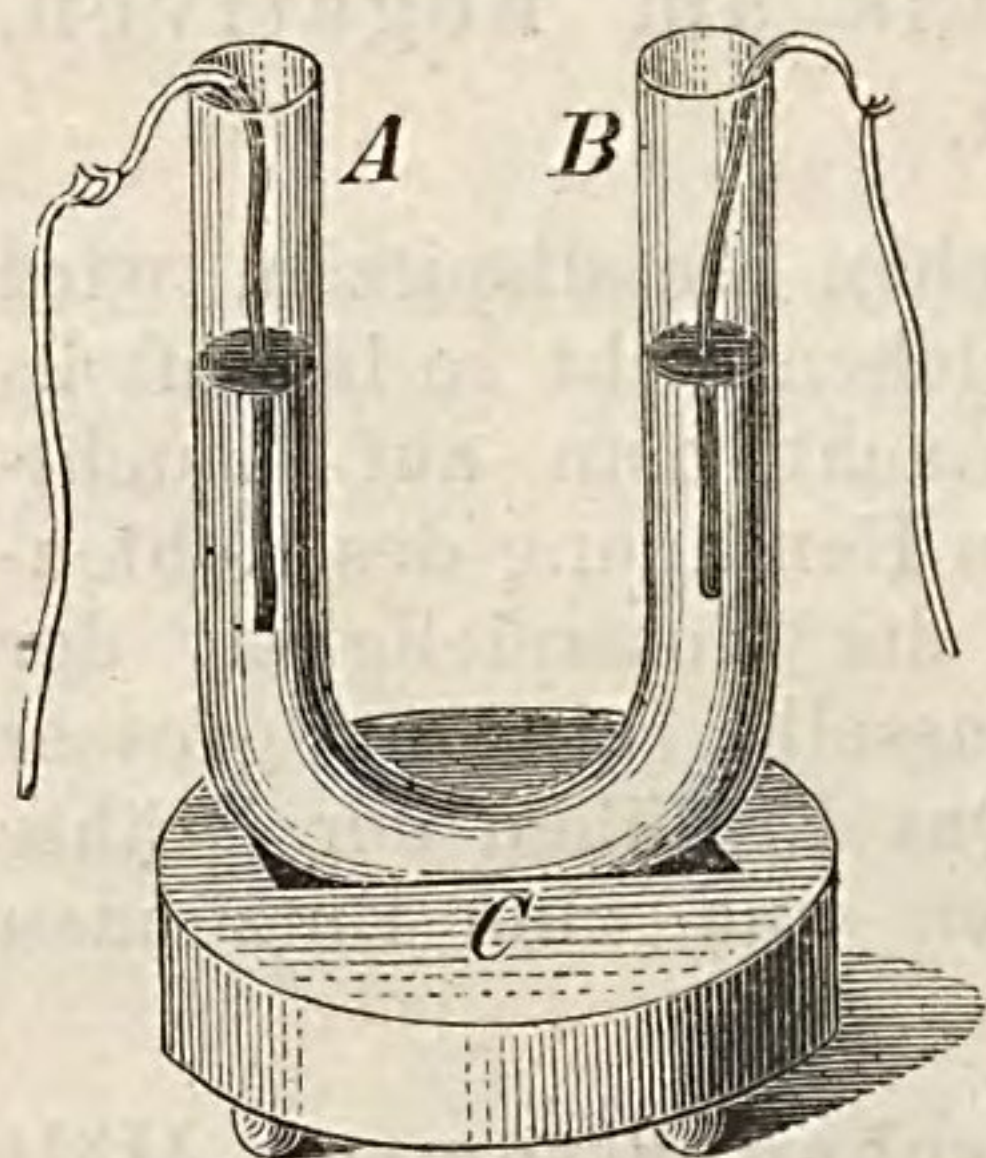
geschlossen. — Die Reizbarkeit der Nerven des menschlichen und thierischen Körpers durch den galvanischen Strom dauert auch einige Zeit nach dem Tode fort, wovon man sich an einem eben getödteten Frosche überzeugen kann.

Die Verstärkung der physiologischen Wirkung bei Anwendung von Metallcylindern und bei Befeuchtung der Hände erklärt sich aus der Vermehrung der Berührungspunkte zwischen den Schliessungsdrähten und der Haut, sowie daraus, dass durch das Befeuchten die Haut leitender gemacht wird. Von den physiologischen Wirkungen des galvanischen Stromes macht man zu Heilzwecken Gebrauch. Pulvermakers Ketten. — Es möge hier noch bemerkt werden, dass der lebende menschliche und thierische Körper beständig von elektrischen Strömen durchflossen wird.

66. Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes. Versuch *a*). Schaltet man den in §. 60 beschriebenen mit angesäuertem Wasser gefüllten Wasserzersetzungssapparat, in den Schliessungsbogen ein, so scheidet sich an dem mit dem positiven Pol verbundenen Platinplättchen Sauerstoff, am andern aber der Wasserstoff ab. Eis lässt sich durch den Strom nicht zerlegen, weil es die Elektrizität schlecht leitet und seine Theilchen nicht frei beweglich sind.

Versuch *b*). Eine U förmig gebogene Glasröhre (Fig. 68) sei mit concentrirter Glaubersalzlösung (schwefelsaures Natron), welche

Fig. 68.



mit Lackmustinctur gebläut ist, gefüllt. Taucht man die mit den Polen verbundenen Platinplättchen ein, so färbt sich die Lösung in dem Schenkel wo der Strom eintritt, roth, in dem andern Schenkel wird sie tiefer blau. Die ursprüngliche Färbung stellt sich wieder allmählich her, wenn die Plättchen vertauscht werden. Das Glaubersalz ist in seine nächsten Bestandtheile, nämlich in Schwefelsäure und Natron zerlegt worden; jene hat sich an der Eintrittsstelle, diese an der Austrittsstelle des Stromes abgeschieden. Die an den Platinplättchen auftretende Gasentwicklung rührt von der Zersetzung des Wassers her. Ungelöstes Glaubersalz wird durch den Strom nicht zerlegt.

Die chemische Zerlegung eines Körpers durch den elektrischen Strom heisst *Elektrolyse* (von dem griech. Worte *lyo* auflösen); der Körper, welcher elektrolysierbar ist, heisst ein *Elektrolyt*. Die Enden der Polardrähte, an welchen der Strom in den Elektrolyten eintritt und wieder austritt, nennt man *Elektroden* (vom griechischen *hodos* = Weg); die mit dem positiven Pol verbundene heisst die *positive Elektrode oder Anode* (vom griech. *ana* = aufwärts) und die andere wird die *negative Elektrode oder Kathode* (von *kata* = abwärts) genannt. Für die Elektrolyse ergaben sich folgende Gesetze:

1. *Körper sind nur elektrolysierbar, wenn sie gute Leiter und ihre Theilchen leicht beweglich sind; feste Körper also nur dann, wenn sie geschmolzen oder wenigstens erweicht oder gelöst sind.*

2. Die bei der Elektrolyse ausgeschiedenen Stoffe treten nur an der Ein- und Austrittsstelle des Stromes auf, und zwar werden der Sauerstoff eines Oxydes so wie jene Stoffe (Chlor, Jod, Brom), welche in einer Verbindung die Rolle des Sauerstoffes spielen, an der Anode, der andere Bestandtheil (das Radikal) an der Kathode ausgeschieden. So scheidet sich aus Chlorsilber, Chlorblei das Chlor an der positiven, das Metall an der negativen Elektrode ab.

3. Salze werden in ihre nächsten chemischen Bestandtheile zerlegt, wobei die Säure an der Anode, die Basis an der Kathode sich abscheidet.

4. Die Gewichte der bei der Elektrolyse in gleichen Zeiten abgeschiedenen Stoffe stehen genau in dem Verhältnisse, in welchem sie in den Elektrolyten mit einander chemisch verbunden sind.

Versuch c). Wendet man im Wasserzersetzungsgapparat statt Platin, ein leicht oxydierbares Metall, z. B. Kupfer als Elektroden an, so wird die positive Elektrode oxydiert.

Versuch d). Taucht man in eine Kupfervitriollösung einen Eisen- und einen Kupferdraht, und setzt jenen mit dem negativen, diesen mit dem positiven Pol in Verbindung, so zeigt das Eisen nach einiger Zeit einen rothen Kupferüberzug, während der Kupferdraht allmählig verzehrt wird. Die Oxydation und die Abscheidung von reinem Kupfer sind keine unmittelbare Wirkung des galvanischen Stromes, sondern eine blosser Wirkung der grossen chemischen Verwandtschaft der ausgeschiedenen Stoffe zu anderen Körpern.

Man nennt die bei der Elektrolyse auftretenden chemischen Wirkungen, welche vom galvanischen Strome unabhängig sind, *secundäre*, zum Unterschiede von den *primären* oder unmittelbaren *Wirkungen des elektrischen Stromes*.

Beim Versuche d) wird das Wasser durch den Strom zerlegt, der Sauerstoff scheidet sich am Kupfer, der Wasserstoff am Eisen ab; jenes wird dabei oxydiert. Zugleich scheidet sich in Folge der Zerlegung des Kupfervitriols am Kupfer Schwefelsäure, am Eisen Kupferoxyd aus. Letzteres wird durch den Wasserstoff desoxydiert, also schlägt sich am Eisen reines Kupfer nieder; die Schwefelsäure verbindet sich mit dem an der Anode gebildeten Kupferoxyd zu Kupfervitriol, welches im Wasser sich sogleich löst und die Lösung concentrirt erhält.

67. Constante Ketten. Die chemische Wirkung des galvanischen Stromes bringt auch in der Kette selbst grosse Veränderungen hervor. Jedes Element der Volta'schen Kette stellt einen Wasserzersetzungsgapparat vor, in welchem das Zink die Anode, das Kupfer die Kathode bildet. Der Strom zerlegt das Wasser und es bildet sich durch secundäre Wirkung Zinkvitriol, durch dessen abermalige Zersetzung an der Kupferplatte reines Zink sich abscheidet. Es wird demnach das Zink mit der Zeit vollständig verzehrt und der Strom allmählig schwächer; letzterer hört bald ganz auf, weil der Zinküberzug des Kupfers mit diesem einen Strom erzeugt, welcher dem ursprünglichen gerade entgegengesetzt ist.

Um daher eine *constante Kette*, d. i. eine solche, deren Strom durch längere Zeit eine unveränderliche Stärke behält, zu

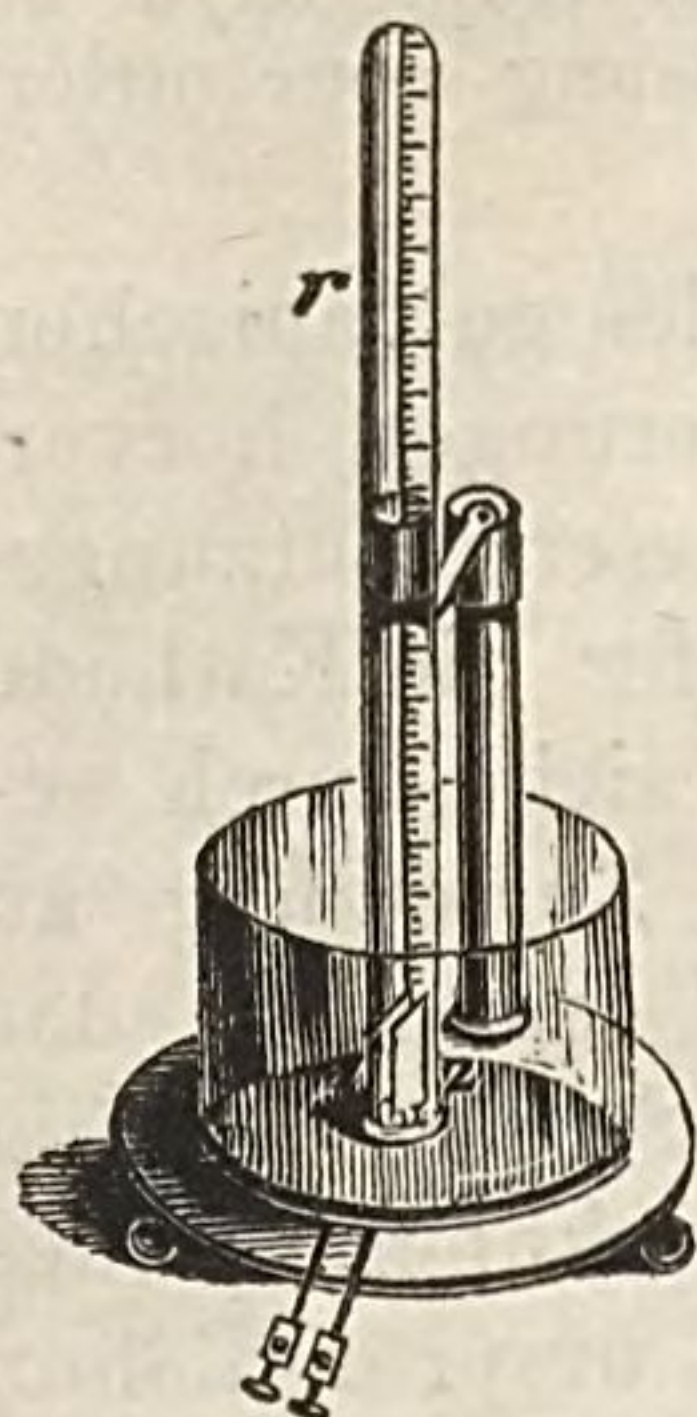
bekommen, muss der Uebergang der Zinkvitriollösung zum Kupfer verhindert werden. Diess wird durch ein poröses Thongefäss, ein sogenanntes Diaphragma erreicht, welches zwischen das Zink- und Kupferblech gestellt wird. Am Kupfer scheidet sich dann nur Wasserstoff aus; aber auch dieser schwächt den Strom, weil er einerseits die innige Berührung des Kupfers mit der Schwefelsäure hindert und andererseits mit dem Kupfer einen Strom erzeugt, welcher dem Strom der Kette entgegengesetzt ist. Man gibt daher in die Thonzelle, in welcher das Kupfer steht, statt der Schwefelsäure concentrirte Kupfervitriollösung, durch deren Zerlegung der Wasserstoff beseitigt und das Kupferblech mit reinem Kupfer überzogen wird. Um die Kupfervitriollösung stets concentrirt zu erhalten, gibt man Kupfervitriol im Überschuss hinein. Ein so eingerichtetes Element heisst nach seinem Erfinder ein Daniell'sches.

Gibt man in den Thoncyylinder des Daniell'schen Elementes concentrirte Salpetersäure und statt des Kupfers ein Platinblech, so erhält man das Grove'sche Element, welches in das Bunsen'sche übergeht, wenn das Platin durch einen Kohkscylinder ersetzt wird. Die Smee'sche Kette besteht aus verdünnter Schwefelsäure, in welche zwei Zinkplatten und eine dazwischen befindliche, mit Platinmohr überzogene Silberplatte eingetaucht sind.

Die Ketten von Grove und Bunsen wirken besonders kräftig. Der Wasserstoff, welcher sich am Platin, beziehungsweise an der Kohle abscheidet, verbindet sich mit einem Theil des Sauerstoffes der Salpetersäure; es entweichen daher bei geschlossenem Strome beständig salpetrigsaure Dämpfe. Bei der Smee'schen Kette hindert die durch den Platinmohr erzeugte rauhe Oberfläche das Anhaften des Wasserstoffgases. Das Platin der Grove'schen Kette kann auch durch Eisen ersetzt werden.

68. Voltameter. Versuch *a*). Schaltet man das Voltameter (Fig. 69), welches ein gewöhnlicher Wasserzersetzungsapparat ist, über dessen Elektroden eine in Kubikcentimeter getheilte Röhre *r* gestellt

Fig. 69.



ist, in den Strom einer constanten Kette ein, so findet man, dass in 2, 3, 4, u. s. w. Minuten sich 2, 3, 4, u. s. w. mal mehr Knallgas entwickelt als in einer Minute. Weil der Strom einer constanten Kette durch längere Zeit unverändert bleibt, so geht offenbar in 2, 3, 4 Minuten 2, 3, 4 mal Elektrizität durch den Elektrolyten als in einer Minute. Wir können daher sagen:

Die während einer gewissen Zeit durch einen galvanischen Strom entwickelte Knallgasmenge wächst genau so, wie die während derselben Zeit durch den Schliessungskreis gehende Elektrizitätsmenge. Nun ist aber von zwei Strömen jener der stärkere, welcher in derselben Zeit die grössere Elektrizitätsmenge durch den Schliessungsbogen treibt. Das obige Gesetz kann daher auch lauten: *Die durch einen Strom entwickelte Knall-*

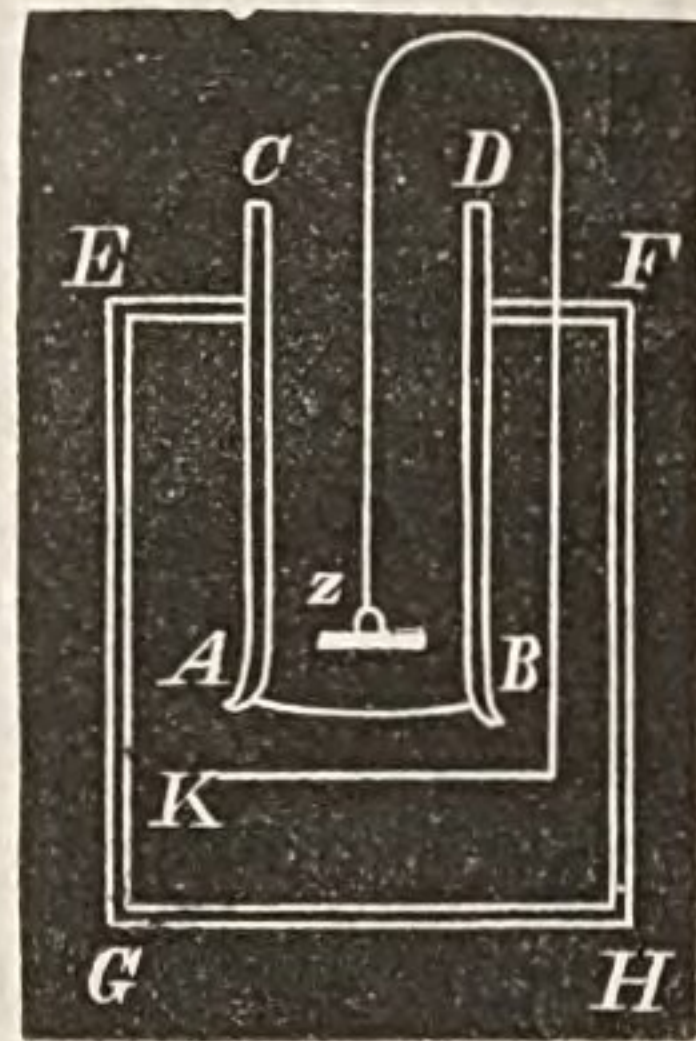
gasmenge wächst gerade so wie die Stromstärke. Jene kann somit als Maass der letzteren angesehen werden.

Um die Stromstärken durch Zahlen auszudrücken nimmt man die Stärke jenes Stromes als Einheit an, welcher in einer Minute einen Kubikcentimeter Knallgas (bei 0° und 760^{mm} Barometerstand) liefert. — Die Richtung des Stromes lässt sich leicht bestimmen, wenn man zwischen die Platinelektroden eine mit Stärkekleister gemischte Lösung von Jodkalium gibt; das Jodkalium wird zersetzt, wobei das an der positiven Elektrode ausgeschiedene Jod die Lösung blau färbt.

69. Anwendungen der chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes. Da der Sauerstoff, welcher bei der in einer Batterie stattfindenden Wasserzersetzung sich entwickelt, nur das elektropositive Metall oxydiert, so liegt der Gedanke nahe, Metalle vor dem Rosten dadurch zu schützen, dass man sie mit andern Metallen verbindet, durch welche sie kräftig negativ elektrisch werden. Man schützt daher stählerne Nadeln gegen den Rost durch Beimengung von Zink, ebenso die kupfernen Schiffsbeschläge durch an denselben befestigte Streifen von Zink, Eisen oder Zinn. Zu Dachbedeckungen wird verzinktes Eisen benützt.

Auf der Ausscheidung des reinen Kupfers aus einer Kupfervitriollösung mit Hilfe des galvanischen Stromes, beruht die von Jakobi und Spencer 1838 erfundene *Galvanoplastik*, d. i. das Verfahren, Gegenstände, wie Münzen, Holzschnitte u. s. w. durch Elektrolyse in Kupfer nachzubilden. Für die Nachbildung kleinerer Objecte bedient man sich eines Apparates, wie er in Fig. 70 dargestellt ist. *GF* ist ein Glasgefäss, welches filtrirte Kupfervitriollösung enthält, *AD* ist ein zweites Glasgefäss, welches unten durch eine Blase *AB* verschlossen und mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. Die Kupferplatte *K* ist durch einen Kupferdraht mit der Zinkplatte *z* verbunden; der abzubildende Gegenstand wird, nachdem er wohl gereinigt worden ist, auf *K* gelegt. Jene Theile, wo sich kein Kupfer niederschlagen soll, werden mit Schellakfirnis o. dgl. überzogen; die Kupfervitriollösung muss immer concentrirt erhalten werden. Bei schwachem Strome bildet sich ein gleichmässiger, zusammenhängender Überzug, welcher in einigen Tagen dick genug ist, um abgenommen werden zu können. Die erhabenen Stellen des Gegenstandes sind an dem Abdrucke vertieft und umgekehrt; will man einen sogenannten positiven Abdruck erhalten, so muss der erste Abdruck nochmals als negative Elektrode in den galvanoplastischen Apparat gegeben werden. Um diess zu vermeiden, macht man von dem nachzubildenden Gegenstande zuerst einen negativen Abguss von Gyps oder aus einer Mischung von Wachs und Stearin, den man an jenen Flächen, wo sich Kupfer niederschlagen soll, mit einer dünnen Schichte von Graphit oder von Kupferbronze überzieht, und ihn dann als negative Elektrode auf *K* legt. — Wie das Kupfer, so können auch Gold, Silber u. s. w. aus den entsprechenden Auflösungen (gewöhnlich Chlorgold oder Chlorsilber mit Cyan-

Fig. 70.



kalium in destilliertem Wasser) an der negativen Elektrode ausgeschieden werden. Hierauf beruhen das galvanische Vergolden, Versilbern u. s. w.

Sind die nachzubildenden Gegenstände grösser, so wird in ein mit Kupfervitriollösung gefülltes Gefäss nebst der Form eine Kupferplatte gehängt, und jene mit dem negativen, diese mit dem positiven Pol einer schwachen constanten Kette verbunden. Am positiven Pol bildet sich beständig Kupfervitriol und die Lösung bleibt daher immer concentrirt.

70. Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel. Versuch *a*). Ein Kupferdraht *k*, welcher in der Richtung der ruhenden Declinationsnadel ausgespannt ist, werde in den Schliessungsbogen einer Kette eingeschaltet, so dass der Strom durch *k* von Süden nach Norden fliesse. Nähert man dem Drahte *k* eine Magnetnadel, so wird diese sogleich abgelenkt, wenn man die Kette schliesst; die Nadel kehrt wieder in die frühere Lage zurück, sobald man die Kette öffnet. Der Nordpol wird nach rechts oder links abgelenkt, je nachdem sich *k* oberhalb oder unterhalb der Nadel befindet; der Nordpol hebt oder senkt sich, je nachdem die Nadel vor oder hinter *k* in derselben Ebene steht. Diese Ablenkungen erfolgen im verkehrten Sinne, wenn *k* vom Strome in entgegengesetzter Richtung durchflossen wird. Leite den Strom vertical bei den Magnetpolen vorbei. Ändere die Entfernung der Nadel vom Strome, die Stärke des Stromes bei gleichbleibender Entfernung, und vergleiche die Grösse der Ablenkungen der Nadel. Halte verschiedene Theile des Schliessungsdrahtes gleich weit entfernt über die Nadel. Aus diesen Versuchen ergeben sich für die ablenkende Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel, welche 1820 Oerstedt zuerst beobachtet hat, folgende Gesetze:

1. *Denkt man sich in den elektrischen Strom eine menschliche Figur gelegt, welche mit dem Strome schwimmt, und das Gesicht der Magnetnadel zuwendet, so wird der Nordpol der Nadel nach links abgelenkt.* Dieses Gesetz heisst die *Ampère'sche Regel*.

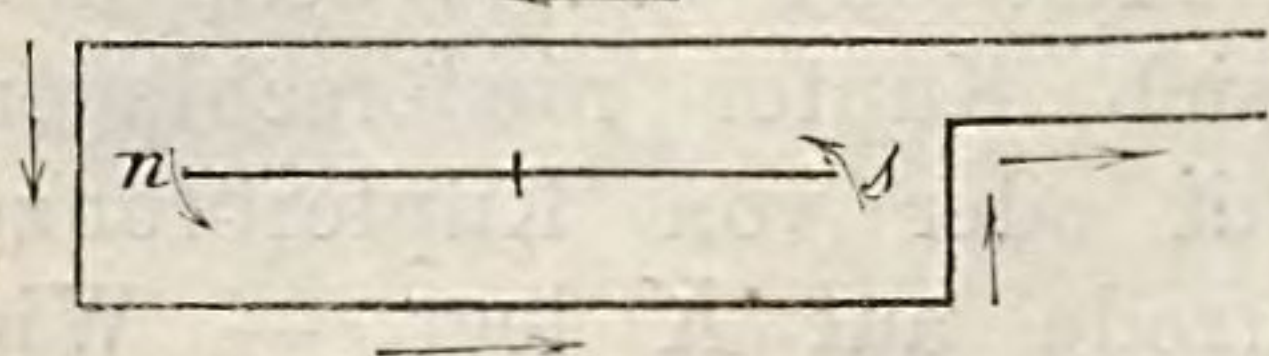
2. *Der Strom sucht die Nadel senkrecht auf seine Richtung zu stellen; dieselbe nimmt jedoch nur eine Zwischenstellung ein, weil der Erdmagnetismus die Nadel in die alte Lage zurückzuführen sucht, wenn die Nadel nicht astatisch ist.*

3. *Die Einwirkung eines Stromes auf die Nadel wird kleiner und endlich Null, wenn die Entfernung beider wächst.*

4. *Die Grösse der Ablenkung nimmt mit der Stärke des Stromes zu, so dass man von jener auf diese zurückschliessen kann.*

5. *Verschiedene Theile des Schliessungsbogens eines Stromes erzeugen bei sonst gleichen Umständen gleiche Ablenkungen der Nadel.*

Fig. 71.



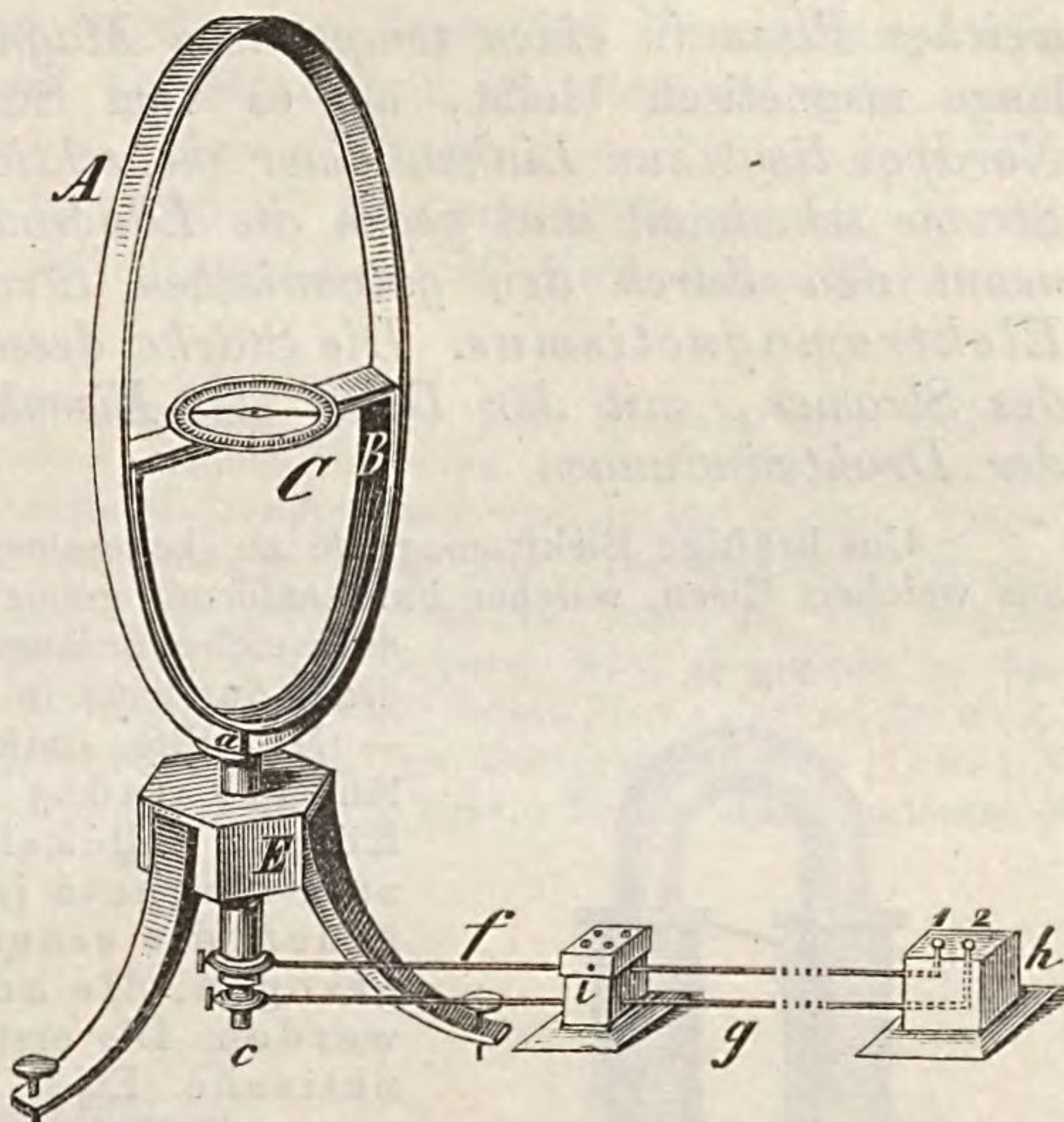
Ein galvanischer Strom hat somit in allen Theilen des Schliessungsleiters dieselbe Stärke.

Leitet man durch das aus Draht oder einem Metallstreifen gebildete Rechteck (Fig. 71) einen Strom, so wird die Nadel *sn* von dem oberen und unteren Theile in gleichem Sinne abgelenkt; es wird daher eine ver-

stärkte Ablenkung der Nadel erfolgen. Wäre noch eine Kreistheilung angebracht, um den Ablenkungswinkel messen zu können, so hätte man ein sogenanntes Galvanometer, mit welchem man die Richtung und Stärke des Stromes bestimmen kann.

Zum Messen starker Ströme wird ein weiter vertical stehender Messingring *A* (Fig. 72) angewendet, in dessen Mittelpunkt die Drehungsaxe einer sehr kurzen Declinationsnadel sich befindet. Die Enden *a*, *c* des Ringes sind von einander isoliert und mit Klemmschrauben zur Aufnahme der Polardrähte *f*, *g* versehen. Vor dem Versuche wird der Ring in die Ebene des magnetischen Meridians gestellt, wodann die Nadel auf den Nullpunkt der horizontalen Kreistheilung *C* weist. — Schwache Ströme müssen sehr nahe und recht oft an der Nadel vorbeigeführt werden um eine merkliche Ablenkung zu erzeugen. Man windet daher einen mit Seide umspunnenen Kupferdraht auf ein Holzrähmchen auf (Fig. 73), innerhalb dessen sich die Nadel befindet, welche entweder auf einer Stahlspitze ruht oder an einem Coconfaden aufgehängt ist. Auf den oberen Windungen ist ein getheilter Kreis angebracht, an dem ein mit der Nadel verbundener Zeiger die Ablenkung angibt. Dieses Galvanometer, welches Multiplicator heisst, wird durch Anwendung eines astatischen Nadelpaares noch empfindlicher.

Fig. 72.



Versuch *b*). Bildet man aus einem Kupferdraht eine Spirale *ab*, wie Fig. 74 sie zeigt, so dass die Windungen möglichst parallel zu einander und isoliert sind,

Fig. 73.

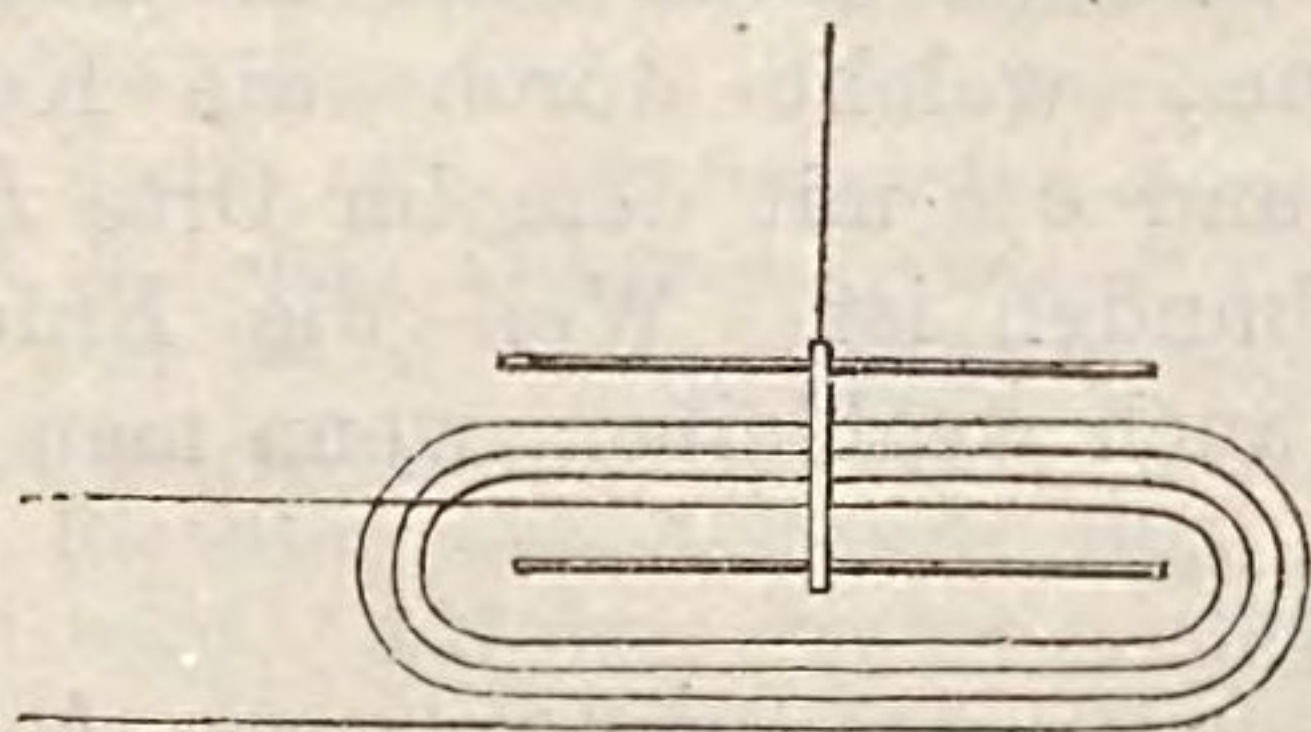
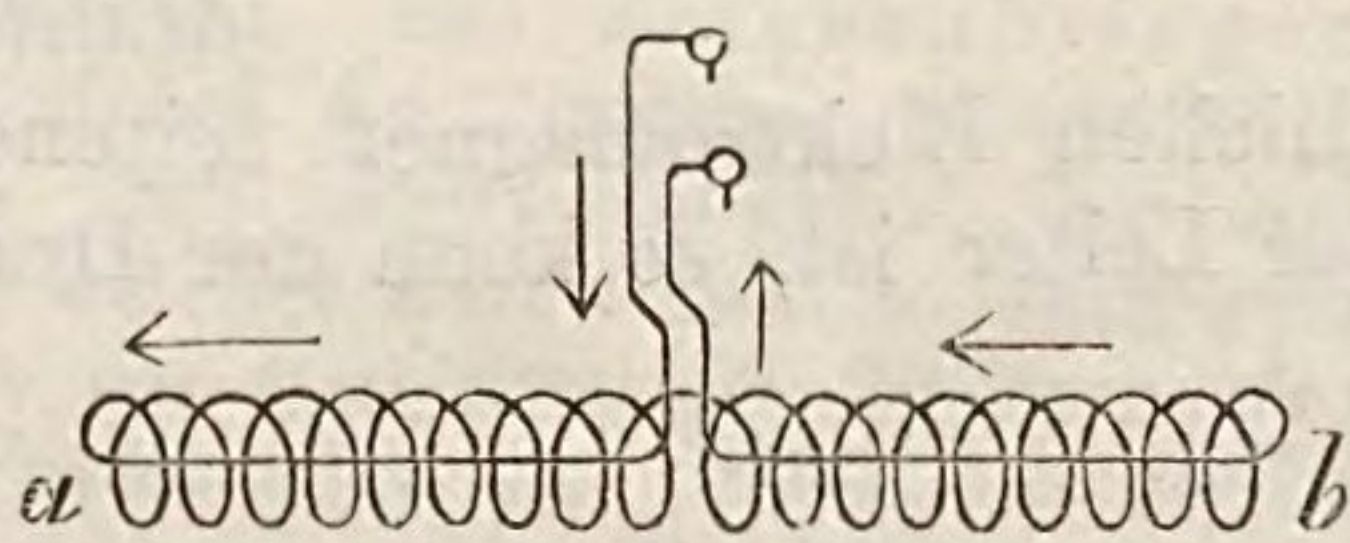


Fig. 74.



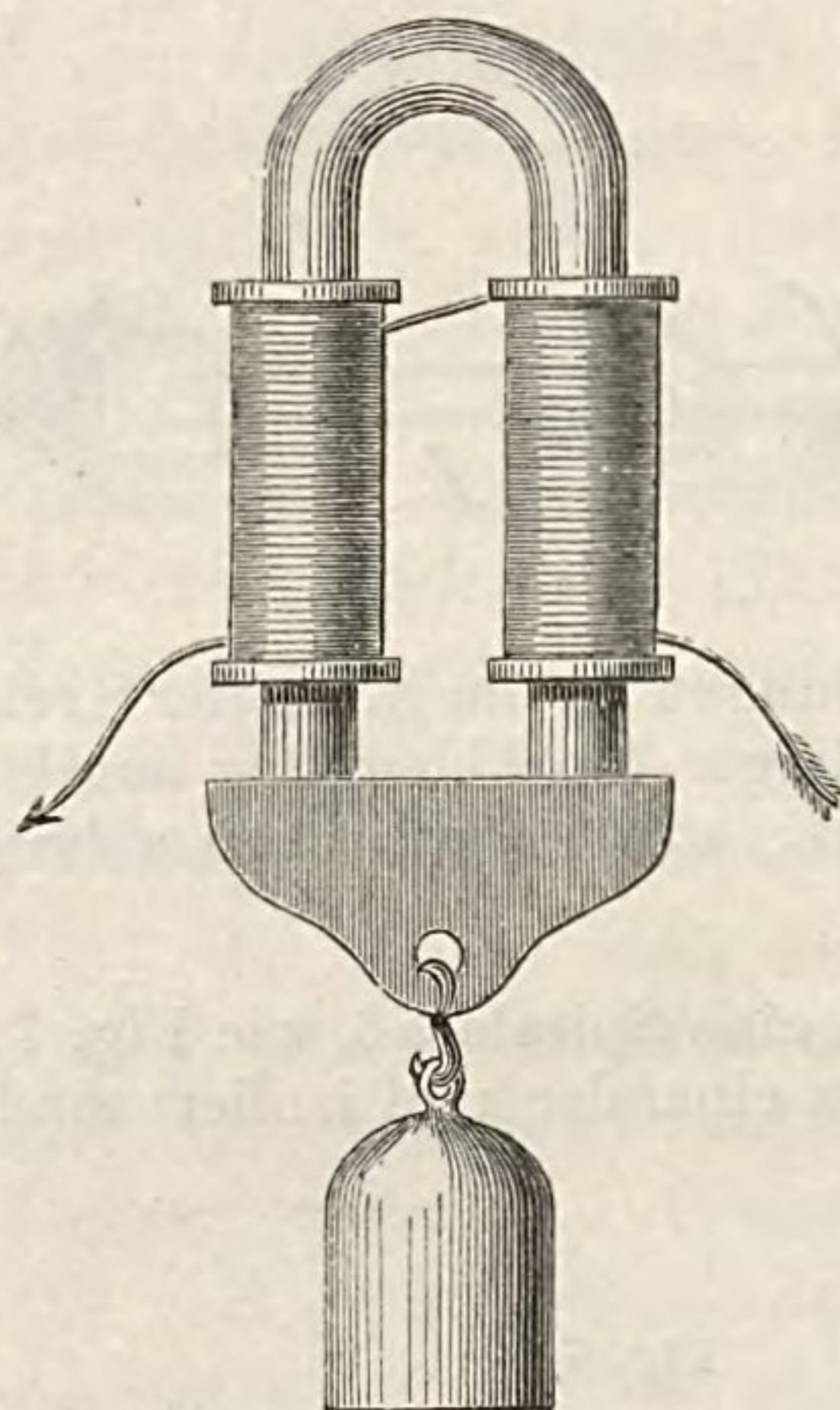
und hängt dieselben in Quecksilberschälchen, welche mit den Polen einer Kette verbunden sind, frei beweglich auf, so stellt sich dieses sogenannte Solenoid parallel zur ruhenden Declinationsnadel, so dass der Strom in den unteren Theilen von Osten nach Westen kreist. Das nördliche Ende wird vom Nordpol, das südliche vom Südpol des Magnets abgestossen; auch wird das Solenoid wie eine Magnetenadel von einem galvanischen Strome abgelenkt. Es besteht somit zwischen zwei Strömen sowohl wie auch zwischen einem Strom und dem Magnete Wechselwirkung, die sich bald als Anziehung, bald als Abstossung äussert. Das Solenoid, welches sich überhaupt wie ein Magnet verhält, wird in Folge dieser Wechselwirkung vom Erdmagnetismus in die oben erwähnte Stellung gebracht.

71. Elektromagnetismus. Versuch. Um einen Cylinder aus weichem Eisen werde der Schliessungsdraht einer Kette mehrmals herumgewickelt. Das Eisen wird magnetisch, wenn der Strom geschlossen ist, und verliert den Magnetismus wieder beim Öffnen der Kette. Stahl wird bleibend magnetisch.

Der galvanische Strom verwandelt Stahl in einen bleibenden, weiches Eisen in einen temporären Magnet, indem letzteres nur so lange magnetisch bleibt, als es vom Strome umflossen wird. Der Nordpol liegt zur Linken einer menschlichen Figur, welche mit dem Strome schwimmt und gegen die Längsaxe des Stabes sieht. Man nennt den durch den galvanischen Strom geweckten Magnetismus Elektromagnetismus. Die Stärke desselben wächst mit der Stärke des Stromes, mit der Dicke des Eisenkernes und mit der Anzahl der Drahtwindungen.

Um kräftige Elektromagnete zu bekommen, umgibt man einen Cylinder aus weichem Eisen, welcher hufeisenförmig gebogen ist (Fig. 75), mit Holzspulen,

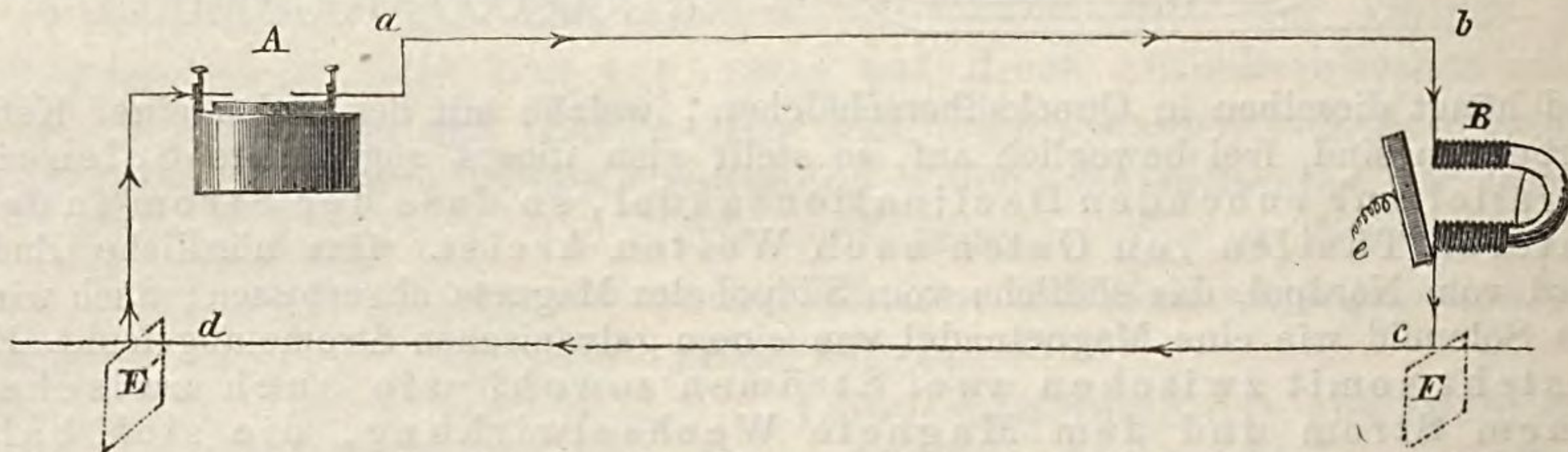
Fig. 75.



auf welche ein langer mit Seide umspinnener Kupferdraht durchaus in derselben Richtung gewickelt ist. — Mit Hilfe starker Elektromagnete hat der Engländer Faraday 1845 nachgewiesen, dass die Körper rücksichtlich ihres Verhaltens zum Magnete in zwei Gruppen zerfallen, indem die einen von einem Magnetpole angezogen, die andern dagegen abgestossen werden. Die ersteren Körper heissen paramagnetische (Eisen, Nickel, Kobalt, Sauerstoff, Luft u. s. w.), die letzteren diamagnetische Körper (Wismuth am stärksten, Phosphor, Zink, Zinn, Schwefelsäure, Äther u. s. w. und alle Gase ausser Sauerstoff.).

72. Der elektrische Telegraph. Die wichtigste Anwendung findet der Elektromagnetismus beim elektrischen Telegraphen. Um die Einrichtung desselben einzusehen, denke man sich an einem Orte *A* (Fig. 76) eine Batterie, welche durch die Kupferdrähte *ab* und *cd* mit dem im Orte *B* befindlichen Elektromagnet leitend verbunden ist. Weil die Erde ein guter Leiter ist, so kann der Draht *cd* auch wegbleiben, wenn man in *A*

Fig. 76.

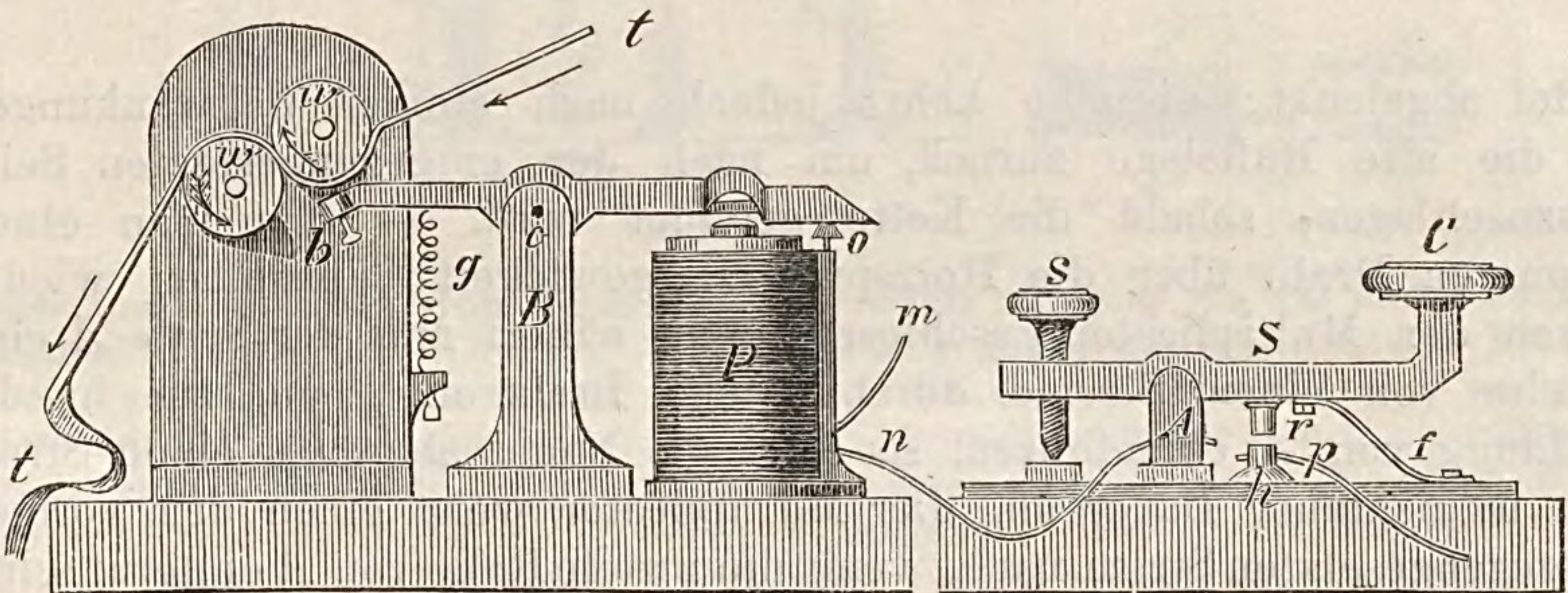


und *B* je eine Kupferplatte *E, E'* in die Erde einsenkt, und die in *A* mit der Batterie, jene in *B* mit dem Elektromagnet leitend verbindet.

Wird der Strom in *A* geschlossen, so verwandelt sich wegen der grossen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes fast in demselben Augenblicke das Hufeisen in *B* in einen Magnet und zieht einen Anker an, welcher durch eine Spiralfeder *e* wieder abgerissen wird, wenn der Strom in *A* unterbrochen wird. Das Schliessen und Oeffnen der Kette in *A* kann durch eine besondere Vorrichtung sehr erleichtert werden, so dass mit derselben von *A* nach *B* sehr rasch Signale gegeben werden können. Der elektrische Telegraph besteht demnach der Hauptsache nach *a*) aus einer Batterie, *b*) aus der Leitung, *c*) aus dem Zeichengeber, *d*) aus dem Zeichenbringer.

Als Stromquelle dient eine constante Kette; jede Station, von welcher Signale ausgehen sollen, ist mit einer solchen versehen. Die Luftleitung besteht aus einem Kupferdraht, welcher mittelst Stangen von Station zu Station ausgespannt ist. Damit der Strom an den Stangen nicht zur Erde abgeleitet werde, sind an den Stangen Hütchen aus Glas oder Porzellan befestigt, um welche der Draht gewickelt ist. Als zweiter Theil der Leitung wird die Erde in der obigen Weise benutzt. Der Zeichengeber besteht beim Morse'schen Drucktelegraphen, welcher bei uns gebräuchlich ist, aus einem metallenen Hebel *S* (Fig. 77), dessen Axe in dem metallenen Lager *A* ruht. Durch die Stahlfeder *f*

Fig. 77.

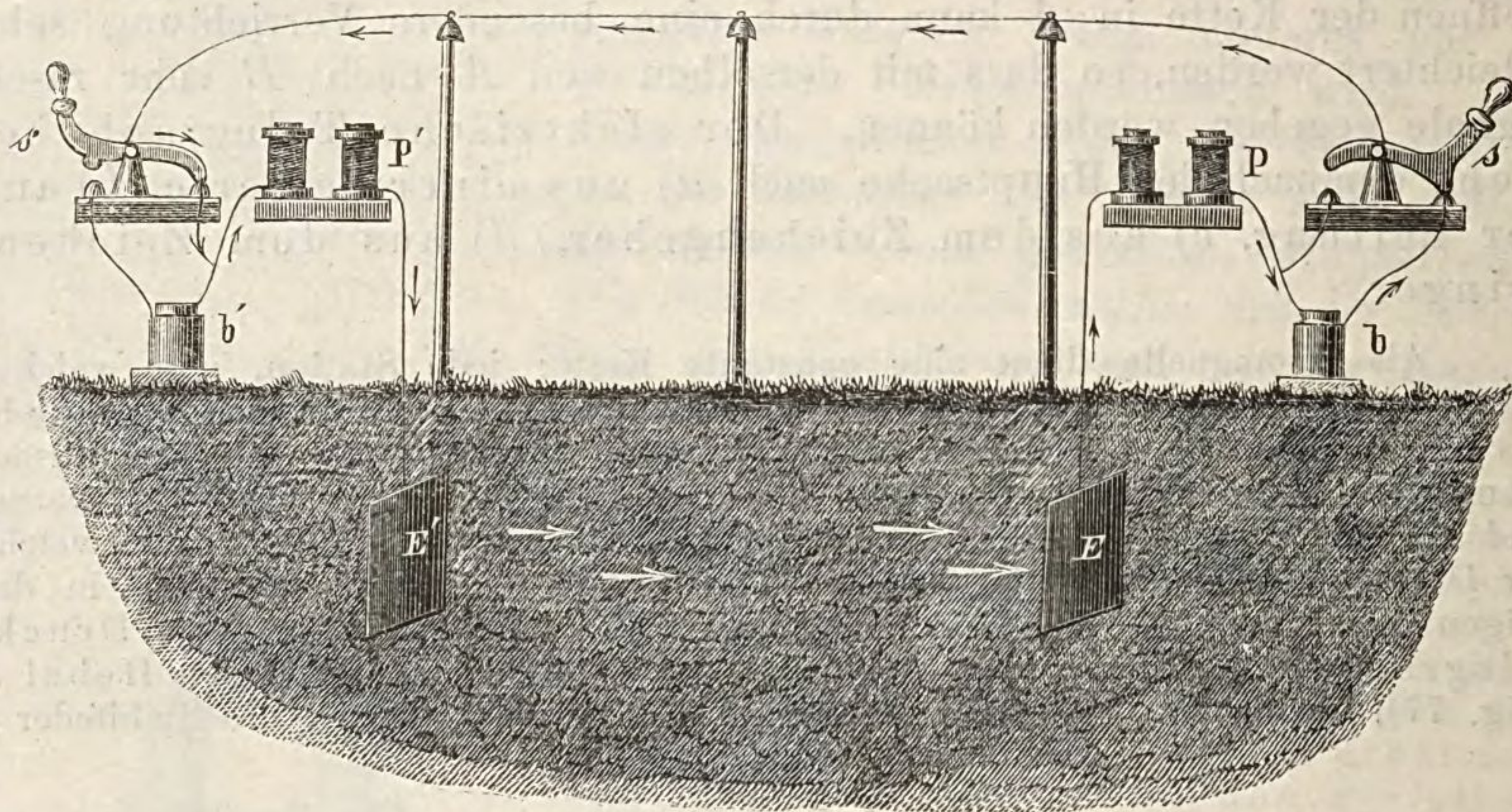


wird verhindert, dass der Metallknopf *r* mit dem Metallknopfe *h* in Berührung kommt, so lange auf *C* nicht gedrückt wird. Die kleine Entfernung zwischen *r* und *h* kann mit der Schraube *s* geregelt werden. Der Zeichenbringer *B* besteht aus dem Elektromagnete *P* und dem Hebel *b o*, welcher einerseits den Anker und bei *b* einen Stahlstift trägt. Der Stift wird, sobald *P* den Anker anzieht, gegen einen Papierstreifen gedrückt, welcher durch zwei in entgegengesetzter Richtung sich drehende Walzen *w* in der Richtung der Pfeile vorübergeführt wird. Auf dem Papier entsteht ein Punkt oder ein Strich, je nachdem der Anker nur momentan oder dauernder angezogen wird. Aus Punkt und Strich hat man die verschiedenen Zeichen zusammengesetzt. So wird *a* mit .—, *b* mit —..., *n* mit —., *l* mit .— —. u. s. w. bezeichnet. Die Walzen *w* werden durch ein Uhrwerk bewegt; die Feder *g* reisst den Anker immer wieder ab; das Knöpfchen *o* lässt den Anker mit den Polen des Magnets nicht ganz in Berührung kommen. Der Draht *p* geht zur Batterie, der Draht *m* zur Luftleitung. Die Verbindung zweier Stationen ist aus Fig. 78 ersichtlich; *s, s'* sind die Zeichengeber, *P, P'* die Elektromagnete der Zeichenbringer, *b, b'* die Batterien, *E, E'* die in die Erde eingesenkten Kupferplatten. Die Batterie in *A* ist geschlossen; die Pfeile geben die Richtung des Stromes an. — Der erste elektrische Telegraph wurde 1833 von Gauss und Weber in Göttingen construiert.

73. Inducierte Ströme. Versuch *a*). Über eine Holzspule seien zwei mit Seide umspinnene Kupferdrähte gewunden, wovon der eine

dicker als der andere ist. Der dünnere Draht sei durch einen Multiplikator geschlossen, der andere in den Schlüsseldraht einer Kette eingeschaltet. Sobald man die Kette schliesst wird die Multiplikator-

Fig. 78.



nadel abgelenkt; dieselbe kehrt jedoch nach einigen Schwankungen in die alte Ruhelage zurück, um nach der entgegengesetzten Seite auszuschiessen, sobald die Kette geöffnet wird. — Hat man einen dünneren Draht über die Holzspule *A* gewickelt, denselben wieder durch den Multiplikator geschlossen, und nähert man der Spule *A* eine zweite von einem Strome durchflossene Drahtrolle, um sie in die Höhlung von *A* einzuführen, so zeigt die Nadel abermals einen Strom von momentaner Dauer an. Der Multiplikator weist einen dem vorigen entgegengesetzten Strom nach, wenn die zweite Rolle von *A* entfernt wird.

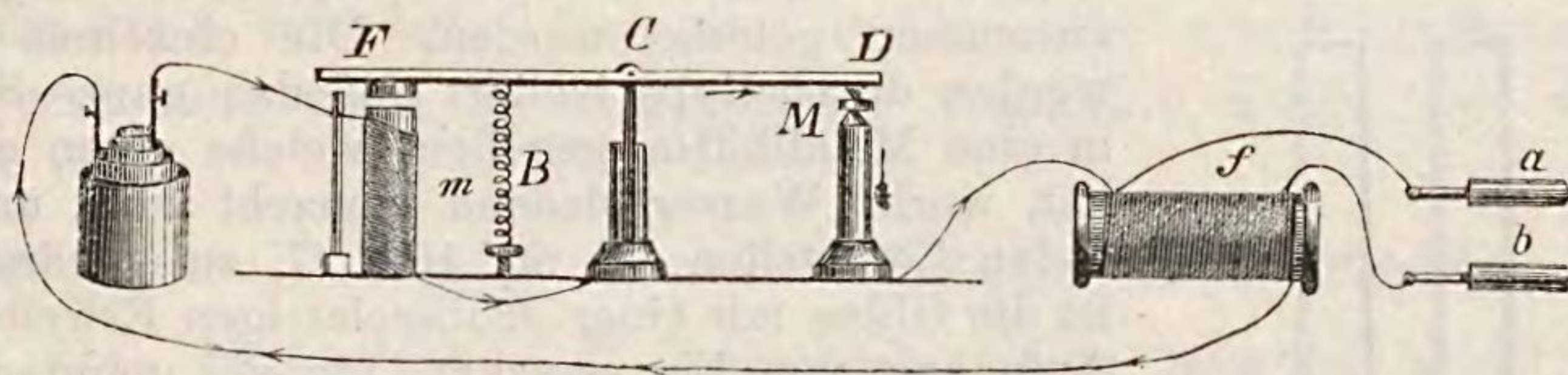
Ein elektrischer Strom erzeugt beim Schliessen und Öffnen der Kette in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen momentanen elektrischen Strom. Ebenso entsteht in einem geschlossenen Leiter ein Strom, wenn ein elektrischer Strom jenem genähert oder von demselben entfernt wird. Man nennt diese durch einen elektrischen Strom hervorgerufenen Ströme inducierte, secundäre oder Nebenströme; jener Strom, durch welchen die letzteren hervorgerufen werden, heisst der inducierende, primäre oder Hauptstrom. Der Vorgang selbst heisst elektrische oder Volta-Induction. Der bei der Schliessung der Kette oder bei der Annäherung eines Stromes an einen geschlossenen Leiter inducierte Strom ist dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichtet; der beim Öffnen der Kette oder bei der Entfernung des primären Stromes erzeugte Strom hat die Richtung des inducierenden. Die inducierten Ströme bringen dieselben Wirkungen wie die galvanischen Ströme hervor; sie vermögen aber besonders grosse Leitungswiderstände zu überwinden und bringen desshalb starke physiologische Wirkungen hervor.

Versuch *b*). Schliesst man den Draht einer Inductionsrolle durch einen Multiplicator, und führt in die Höhlung rasch einen Nordpol ein, so zeigt die Nadel einen momentanen Ausschlag, der sich umkehrt, wenn der Pol wieder entfernt wird. Der Ausschlag erfolgt in entgegengesetztem Sinne, wenn ein Südpol eingeführt wird. — Legt man in die Höhlung der Rolle einen weichen Eisenkern, und nähert diesem einen Magnetpol, so wird jener in einen temporären Magnet verwandelt; die Multiplicatornadel wird abermals momentan abgelenkt. Die Ablenkung erfolgt nach der andern Seite, wenn der Magnetpol entfernt, also das Eisen wieder unmagnetisch wird.

In einem geschlossenen Leiter werden durch Annäherung oder Entfernung eines Magnetpoles Ströme von entgegengesetzter Richtung induciert. Auch entsteht ein inducierter Strom, wenn in einem geschlossenen Leiter ein Stück Eisen magnetisch wird oder seinen Magnetismus verliert. Diese Induction heisst Magneto-Induction.

Zur Hervorrufung inducierter Ströme dient der Neef'sche Hammer (Fig. 79). *f* ist eine Inductionsrolle, *B* eine Spiralfeder, *D F* ein Hebel, welcher bei *F* einen

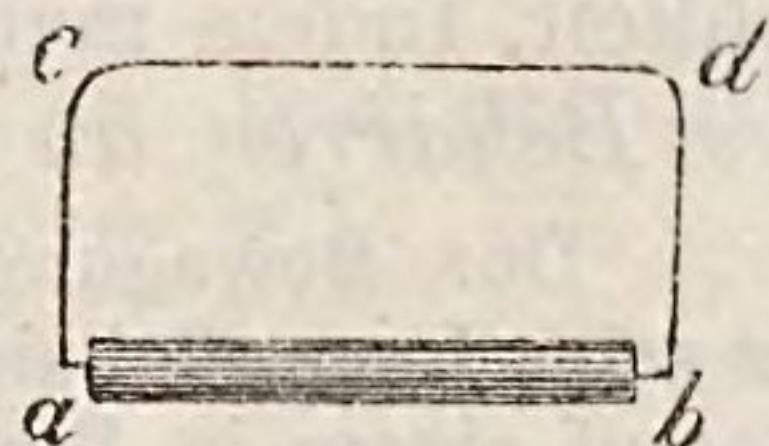
Fig. 79.



Anker und bei *D* den Kopf eines Hammers trägt, und um die auf einem Metallsäulchen ruhende Axe *C* drehbar ist. Die Pfeile geben die Richtung des Hauptstromes an, der eben geschlossen ist wenn *D* auf dem Metallsäulchen *M* aufruht. Indem der Anker nun vom Magnet *m* angezogen wird, entsteht bei *M* eine Stromunterbrechung, die Feder reisst den Anker wieder ab, *D* kommt daher mit *M* in Berührung und die Kette ist abermals geschlossen. Die Unterbrechungen und Schliessungen folgen sehr rasch aufeinander, und in dem dünnen Drahte der Inductionsrolle werden Ströme induciert, wenn man z. B. die Messingcylinder *a, b* mittelst der Hände schliesst. Die Wirkung kann verstärkt werden, wenn man in die Inductionsrolle *J* ein Bündel von Eisenstäbchen legt, weil diese durch ihren Magnetismus inducierend wirken. — Man hat auch Magneto-Inductionsmaschinen, bei welchen ein Hufeisen, welches von Inductionsrollen umgeben ist, vor den Polen eines sehr starken Hufeisenmagnetes in rasche Rotation versetzt wird. — Eine geschlossene Kette stellt selbst einen geschlossenen Leiter vor; daher werden in ihr beim Schliessen und Öffnen momentane Ströme induciert, welche Extraströme heissen. Es erklärt sich nun, warum man beim Öffnen der Kette eine stärkere Erschütterung verspürt als beim Schliessen; dort hat der Extrastrom dieselbe, hier die entgegengesetzte Richtung wie der Hauptstrom. — Faraday hat 1831 die Induction entdeckt.

74. Thermoelektricität. Versuch. An dem Wismuthstäbchen *a b* (Fig. 80) ist ein Kupferdraht oder ein Kupferstreifen *a c d b* angelöthet und in dem Rechteck eine Magnetnadel angebracht. Stellt man das Rechteck so, dass das Wismuth parallel zur ruhenden Declinationsnadel ist, und erwärmt man eine Löthstelle z. B. *a*, so zeigt die Ablenkung der Nadel an, dass ein Strom von *a* nach *c, d, b* durch das

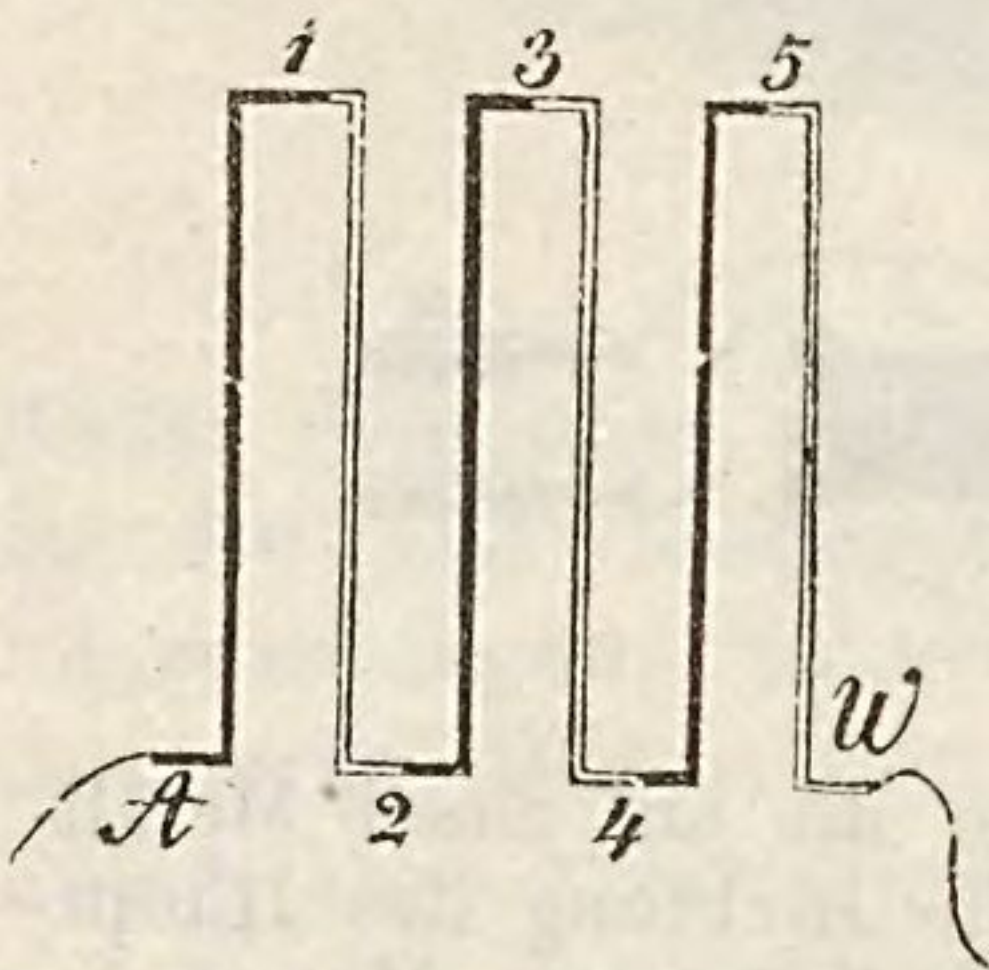
Fig. 80.



Wismuthstäbchen zurück nach *a* kreist. Ersetzt man das Wismuth durch Antimon, so geht der Strom an der erwärmten Stelle vom Kupfer zum Antimon, also entgegengesetzt dem vorigen Strome. Man kann den Versuch auch mit anderen Metallen machen.

Auf diesem Wege fand der deutsche Physiker Seebeck 1821, dass zwei Metalle, welche zusammen gelöthet und an einer Löthstelle erwärmt werden, einen elektrischen Strom liefern, dessen Stärke mit dem Temperaturunterschiede der Löthstellen zunimmt und von der materiellen Beschaffenheit der Metalle abhängt. Man nennt diese Ströme *thermoelektrische*. Dieselben unterscheiden sich von den galvanischen nur der Stärke und der Entstehungsweise nach. Man hat auch gefunden, dass sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen lassen, in welcher ein vorhergehendes in Verbindung mit einem folgenden bei Erwärmung einer Löthstelle um so stärker negativ elektrisch und letzteres um so stärker positiv elektrisch wird, je weiter beide von einander in der Reihe abstehen. Wismuth steht am Anfange, Antimon am Ende dieser Reihe.

Fig. 81.



Kräftige Thermosäulen verfertigt man aus Wismuth- und Antimonstäben, welche wie Fig. 81 zeigt, zusammen gelöthet werden. Die einzelnen Elemente werden durch Gyps isoliert und das ganze Stabbündel in eine Metallhülse gegeben, welche unten ein Gefäß hat, worin Wasser siedend gemacht wird, um die geraden Löthstellen bis auf 100° C. zu erwärmen; oben ist die Hülse mit einer schüsselartigen Erweiterung zur Aufnahme von Eis versehen, um die ungeraden Löthstellen auf 0° abkühlen zu können. — Es entsteht sogar ein elektrischer Strom, wenn man das eine Drahtende eines empfindlichen Multiplicators erhitzt und dann mit dem andern Ende verbindet. —

VII. VOM GLEICHGEWICHTE UND VON DER BEWEGUNG.

A. Vom Gleichgewichte.

75. Ruhe. Bewegung. Beweglichkeit. Die Erfahrung lehrt, dass die Körper aus jener Stelle des Raumes, in welcher sie sich eben befinden, in eine andere gebracht werden können. Man sagt daher, *die Körper sind beweglich* oder besitzen die Eigenschaft der Beweglichkeit, indem man *die Ortsveränderung eines Körpers Bewegung*, *das Beharren an demselben Orte aber Ruhe* nennt.

Der Bewegung und Ruhe eines Körpers werden wir uns nur bewusst, wenn wir seine Lage rücksichtlich jener der ihn umgebenden Körper betrachten. Stehen wir auf einem in Bewegung befindlichen Schiffe, so sind wir rücksichtlich der auf dem Schiffe vorhandenen Gegenstände in Ruhe, in Beziehung auf einen Gegenstand am Ufer jedoch in Bewegung. So bewegen sich auch alle Körper, die scheinbar in Ruhe sind, mit der Erde durch den Weltraum um die Sonne.

Auch die Bewegung der Körper ist oft nur eine scheinbare. Führt man z. B. stromabwärts, so hat es den Anschein als ob die Gegenstände am Ufer sich stromaufwärts bewegten. So scheint die Erde zu ruhen, der Sternenhimmel sich um dieselbe zu drehen.

76. Die Bewegung im Allgemeinen. Bewegen sich alle Punkte eines Körpers gleichmässig in parallelen Richtungen weiter, so heisst *die Bewegung eine fortschreitende (progressive)*. In solcher Bewegung befinden sich: der Mensch beim Gehen, ein fahrender Wagen, das fliessende Wasser, ein fallender Stein u. s. w. Bewegt sich ein Körper, wie z. B. ein Stein, welcher mittelst einer Schnur im Kreise herumgeschwungen wird, oder wie die Erde um die Sonne, in einer geschlossenen Bahn ohne dabei zurückzugehen, so heisst die *Bewegung eine kreisende (circulierende)*. Bewegt sich ein Körper in einer bestimmt begrenzten Bahn regelmässig hin und zurück, wie das Uhrpendel, die aus ihrer Ruhelage gebrachte Magnetnadel, eine tönende Saite, so wird *die Bewegung eine schwingende (oscillierende)* genannt. Die *Bewegung* ist eine *drehende (rotierende)*, wenn ein Körper, wie z. B. ein Wagen- oder Wasserrad, die Erde, um eine bestimmte durch ihn gehende gerade Linie, die Axe genannt, sich bewegt. Die drehende Bewegung kann mit einer fortschreitenden oder einer kreisenden verbunden sein, wie diess z. B. bei einer rollenden Kugel, bei der Erde der Fall ist.

Bei jeder Bewegung kommt Siebenerlei in Betracht.

1. *Das Bewegliche*, d. i. dasjenige was bewegt wird. Dieses ist in der Regel ein Körper; wir werden aber in der Folge oft nur ein materielles Theilchen oder einen materiellen Punkt, z. B. den Schwerpunkt eines Körpers als Bewegliches annehmen.

2. *Die Richtung der Bewegung*; diese wird durch eine Gerade angegeben, längs welcher das Bewegliche sich entweder wirklich bewegt oder zu bewegen strebt.

3. *Die Form der Bahn*. Diese würde als eine Linie erscheinen, wenn der Schwerpunkt des Beweglichen eine Spur zurückliesse. Die Bahn ist eine gerade oder krumme Linie, je nachdem das Bewegliche stets dieselbe Richtung beibehält, oder die Richtung beständig ändert. Im ersten Falle heisst die *Bewegung geradlinigt*, im zweiten *krummlinigt*. Bei der krummlinigten Bewegung wird die Richtung in irgend einem Punkte der Bahn durch die zu diesem Punkte gezogene Berührungslinie (Tangente) angegeben.

4. *Der zurückgelegte Weg*, d. i. die Länge der durchlaufenen Bahnstrecke. Derselbe wird nach Fussen, Klaftern, Meilen, Metern u. s. w. gemessen.

5. *Die Zeit*, während welcher der Körper sich bewegt. Als Zeiteinheit gilt die Secunde (Minute, Stunde u. s. w.).

6. *Die Geschwindigkeit*. Wir sagen, ein Körper *A* bewege sich 2, 3, 4mal geschwinder als der Körper *B*, wenn jener denselben Weg in einer 2, 3, 4mal kürzeren Zeit, oder wenn er in derselben Zeit einen 2, 3, 4mal längeren Weg als *B* zurücklegt. Die Vergleichung

der Zeit mit dem in ihr zurückgelegten Weg führt also zum Begriffe der Geschwindigkeit. Als Maass der Geschwindigkeit nimmt man den Weg an, welchen der Körper in der Zeiteinheit zurücklegt. Bleibt die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers durchweg dieselbe, so heisst die Bewegung eine *gleichförmige* (die Bewegung des Uhrzeigers z. B.), im Gegentheile wird sie *ungleichförmig* genannt. *Die ungleichförmige Bewegung ist entweder beschleunigt* (fallender Stein) *oder verzögert* (in die Höhe geworfener Körper), je nachdem die Geschwindigkeit fortwährend wächst oder abnimmt.

Was heisst es: die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft ist 1050 Fuss, die Geschwindigkeit des Lichtes 41.900 geograph. Meilen? — Bei der ungleichförmigen Bewegung kann man nicht von einer Geschwindigkeit schlechtweg, sondern nur von der Geschwindigkeit sprechen, welche das Bewegliche in einem bestimmten Punkte seiner Bahn, oder am Ende einer gewissen Zeit besitzt. — Dividirt man den Weg durch die Zeit, in welcher derselbe von einem Körper zurückgelegt worden ist, so erhält man die sogenannte mittlere Geschwindigkeit des Körpers. Legt ein Fussgänger z. B. 3 Meilen in 5 Stunden zurück, so ist seine mittlere Geschwindigkeit per Stunde $\frac{3 \times 4000}{5} = 2400^0 = 14.400'$, per Minute 240', per Sekunde 4'.

7. *Die bewegende Kraft*, d. i. die Ursache der Bewegung.

77. Beharrungsvermögen. Die Erfahrung lehrt, dass jeder Körper einen Widerstand äussert, wenn man denselben aus dem Zustande der Ruhe in jenen der Bewegung versetzen will. Ebenso setzt ein bewegter Körper einen Widerstand entgegen, wenn man die Geschwindigkeit oder die Bewegungsrichtung verändern oder ihn gar zur Ruhe bringen will. Der jedesmalige Widerstand zeigt sich um so stärker, je grösser die Masse des Körpers ist, wesshalb man von diesem Widerstande auf die Grösse der Masse des Körpers zurück zu schliessen pflegt. *Alle Körper zeigen dem zufolge das Bestreben in dem Zustande der Ruhe oder Bewegung, in welchem sie sich eben befinden, zu beharren*; dieses Bestreben nennt man *Beharrungsvermögen* oder *Trägheit*. *Dasselbe kommt der Materie als solcher zu; es ist daher eine allgemeine Eigenschaft der Körper, und wächst gerade so wie die Masse der Körper.*

Wegen des Beharrungsvermögens kann ein ruhender Körper sich selbst ebenso wenig in Bewegung, als ein bewegter sich in Ruhe versetzen; auch ist desshalb zum Übergange aus der Ruhe in die Bewegung immer eine gewisse, wenn auch oft sehr kurze Zeit erforderlich. — Ein Eisenbahnzug fährt noch eine ziemliche Strecke weiter, wenn auch schon der Dampf abgesperrt ist. Locomotiven und Wägen werden gleichzeitig gebremst, damit kein Stoss erfolge. — Ein im Wagen stehender Mensch fällt beim raschen Anziehen des Wagens nach rückwärts, weil der Oberkörper noch in der Ruhe beharrt, während die Füsse schon die Bewegung des Wagens angenommen haben. Beim plötzlichen Stillhalten eines schnell bewegten Wagens fällt der Mensch nach vorwärts. Hält man die schnell bewegte, mit Tinte gefüllte Feder plötzlich inne, so fliegt in Folge der Trägheit die Tinte heraus. Befestigung des Hammerkopfes am Stiele. Schichtet man mehrere glatte Holzscheiben über einander auf, und schlägt mit einer Messerschneide langsam gegen eine Scheibe, so fällt die Säule um; hingegen fliegt nur die getroffene Scheibe aus der Säule heraus, wenn der Schlag sehr schnell ausgeführt worden ist. Im ersten Falle hat die Bewegungsanregung Zeit gefunden, sich über alle Scheiben zu verbreiten, im zweiten Falle nicht. — Ein grosser Kreisel verharret länger in seiner Bewegung als ein kleiner. Um die Bewegung

der Maschinen gleichmässiger zu machen, bringt man die aus grossen Massen bestehenden Schwungräder an. — Auf einer glatten Fläche rollt eine Kugel weiter als auf einer rauhen, weil die Kugel an die Unebenheiten anstösst und dadurch einen Theil ihrer Geschwindigkeit verliert.

78. Kraft. Nehmen wir in dem Zustande der Ruhe oder Bewegung eines Körpers eine Änderung wahr, so müssen wir dem Obigen zufolge auf eine äussere Ursache schliessen. *Jede Ursache, welche in dem Zustande der Ruhe oder Bewegung eines Körpers eine Veränderung erzeugt, wird Kraft genannt.* Solche Kräfte sind z. B. die Schwerkraft, die Spannkraft des Dampfes und der Gase, die Muskelkraft der Menschen und Thiere, der Widerstand, welchen Körper wegen ihrer Undurchdringlichkeit und wegen ihres Beharrungsvermögens äussern u. s. w.

Die Kräfte werden rücksichtlich der Dauer ihrer Einwirkung in momentane und continuierliche Kräfte eingetheilt. Momentane Kräfte sind jene, welche, wie z. B. ein Stoss, nur eine unmessbar kurze Zeit hindurch auf das Bewegliche einwirken. Die continuierlichen Kräfte dagegen bleiben, wie z. B. ein anhaltender Druck oder Zug, durch eine messbare Zeit ununterbrochen wirksam. *Bei jeder Kraft mag sie der einen oder anderen Art angehören, hat man die Stärke (Intensität), den Angriffspunkt und die Richtung zu berücksichtigen.*

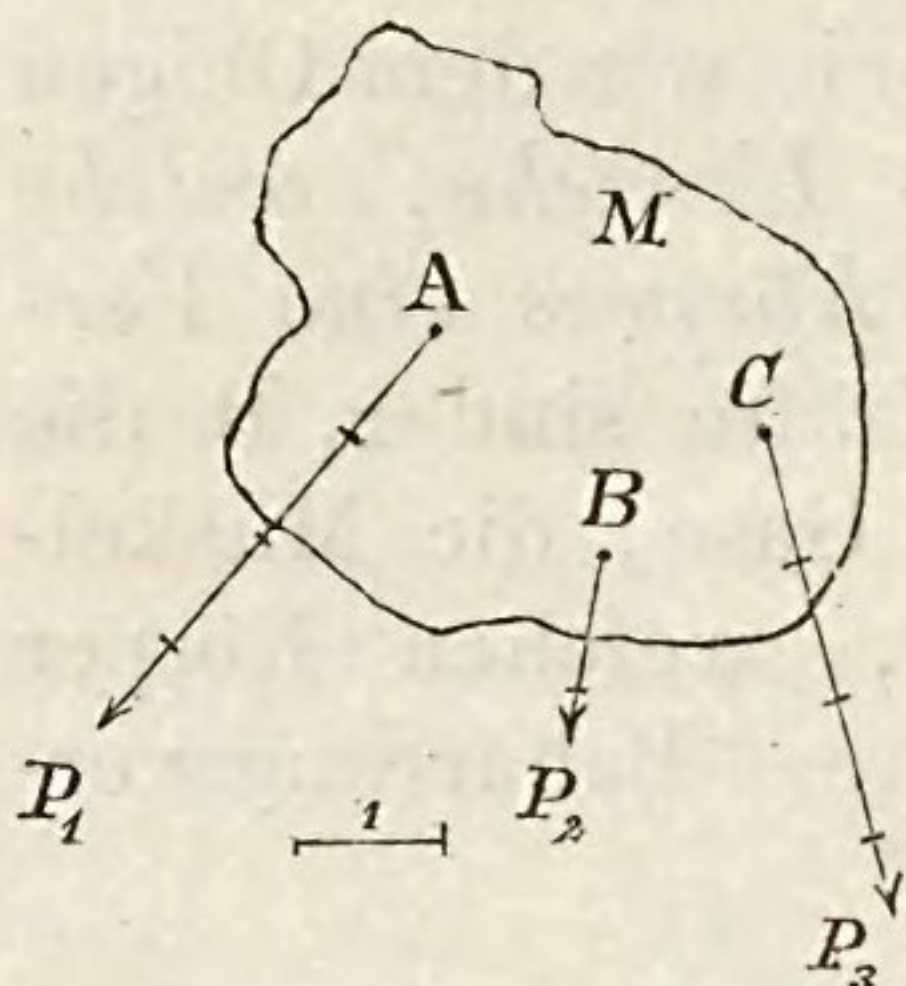
Die *Stärke* der Kräfte kann nur nach der Wirkung beurtheilt werden. Um daher zwei Kräfte ihrer Stärke nach zu vergleichen, muss man ähnliche Wirkungen derselben, z. B. die Stärke des Zuges oder Druckes, welchen sie auf einen Körper auszuüben vermögen, in's Auge fassen. Wir wollen deshalb unter der Stärke einer Kraft die Grösse des Zuges oder Druckes verstehen, welchen die Kraft auszuüben vermag. Zwei Kräfte sind daher gleich stark, wenn sie einen gleich grossen Druck oder Zug erzeugen; eine Kraft ist 2, 3, 4mal stärker als eine andere, wenn sie einen 2, 3, 4mal grösseren Druck oder Zug als jene hervorzurufen im Stande ist. Nimmt man nun den Zug oder Druck eines Pfundes als Einheit für die Stärke der Kräfte an, so lassen sich nach der in §. 9 angegebenen Weise die Kräfte messen und in Zahlen ausdrücken. — Behält eine continuierliche Kraft fortwährend dieselbe Stärke, so heisst sie constant, im Gegentheil veränderlich.

Der *Angriffspunkt* einer Kraft ist derjenige Punkt eines Körpers, auf welchen die Kraft unmittelbar einwirkt. Unter der *Richtung* einer Kraft versteht man jene Richtung, in welcher die Kraft ihren Angriffspunkt zu bewegen sucht. Der Angriffspunkt liegt somit immer in der Richtung der Kraft, und kann ohne Änderung der Wirkung nach irgend einem Punkte verlegt werden, welcher in der Richtungslinie der Kraft liegt und mit dem ursprünglichen Angriffspunkte fest verbunden ist.

Man kann die Stärke verschiedener Kräfte durch gerade Linien vorstellen, wenn man sich die Krafteinheit durch eine bestimmte Strecke versinnlicht. Zugleich

kann man an diesen Linien mittelst Pfeilen die Richtungen, und durch gewisse Punkte der Linien die Angriffspunkte der Kräfte anzeigen. Greifen z. B. in den Punkten A, B, C des Körpers M die drei Kräfte $P_1 = 3$ Pfd., $P_2 = 1$ Pfd., $P_3 = 3$ Pfd. an und wirken sie in den durch die Pfeile angedeuteten Richtungen, so kann man diess durch die Figur 82 veranschaulichen.

Fig. 82.



Wirken auf einen Körper zwei oder mehrere Kräfte ein, so dass die Wirkung der einen Kraft durch die gleiche, aber gerade entgegengesetzte Wirkung der übrigen Kräfte zusammen genommen aufgehoben wird, so sagt man: *die Kräfte halten einander das Gleichgewicht*, wohl auch: der Körper befinde sich im Gleichgewichte. Beispiele hiefür haben wir am Hebel (§. 9) kennen gelernt.

Bezüglich des Gleichgewichtes der Kräfte gilt der Grundsatz: *a) zwei gleiche Kräfte, welche nach gerade entgegengesetzter Richtung wirken, halten einander das Gleichgewicht.*

Heben sich die Wirkungen der auf einen Körper wirkenden Kräfte nicht auf, so tritt jedenfalls Bewegung ein. Wir werden daher die Kräfte nach zwei Seiten zu betrachten haben, nämlich: 1.) insofern sie Gleichgewicht und 2.) insofern sie Bewegung erzeugen. Die Lehre vom Gleichgewichte der Kräfte heisst Statik, die Lehre von der Bewegung aber Dynamik; beide zusammen bilden die Mechanik.

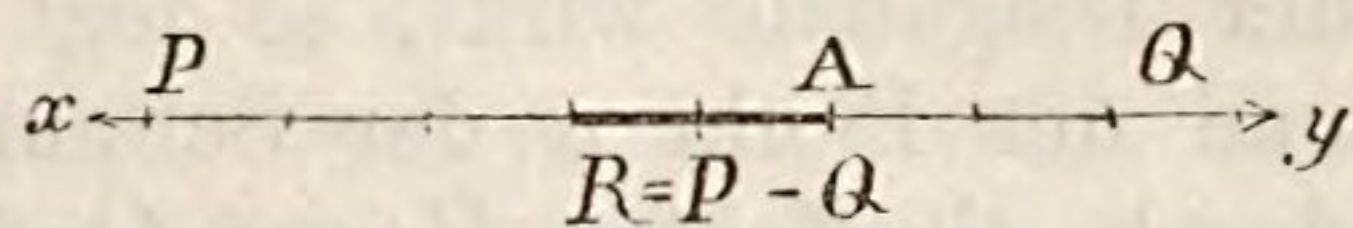
79. Mittelkraft. Seitenkräfte. Ein Wagen welcher von mehreren Menschen weiter bewegt wird, kann von nur einem Pferde in ganz gleicher Weise fortgezogen werden. Eine solche einzelne Kraft, welche (wie in unserem Beispiele die Zugkraft des Pferdes) genau dieselbe Wirkung erzeugt, wie mehrere gleichzeitig auf einen Körper einwirkende Kräfte (die Zugkräfte der Menschen) heisst die *Mittelkraft* oder *Resultierende* der letzteren; die mehreren Kräfte werden *Seitenkräfte* oder *Componenten* genannt. Die Aufsuchung der Mittelkraft aus den gegebenen Seitenkräften nennt man *Zusammensetzung der Kräfte*. Hiebei sind zwei Fälle zu unterscheiden: a) ob die Kräfte einen gemeinsamen Angriffspunkt oder b) verschiedene, mit einander fest verbundene Angriffspunkte haben. Umgekehrt lässt sich auch eine Kraft durch mehrere Kräfte ersetzen. Die Ersetzung einer Kraft durch mehrere Kräfte heisst *Zerlegung der Kräfte*.

80. Zusammensetzung der Kräfte, welche einen gemeinsamen Angriffspunkt haben. Versuch. Hängt man in einem Punkte eines Hebelarmes 3 Lth., 4 Lth., 9 Lth. auf, so kann der Zug, welchen die Gewichte in derselben Richtung zusammen hervorbringen, auch durch ein Gewicht von $3 + 4 + 9 = 16$ Lothen hervorrufen.

1. *Die Resultierende mehrerer Kräfte, welche auf einen Punkt in derselben Richtung wirken, ist gleich der Summe der Seitenkräfte und hat die Richtung der letzteren.* Zugleich ist ersichtlich, dass man eine gegebene Kraft zerlegen könne in mehrere Kräfte, welche mit jener den Angriffspunkt und die Richtung gemeinsam haben, und deren Summe der Stärke der gegebenen Kraft gleich ist.

Auf den Punkt A (Fig. 83) wirken die Kraft $P = 5$ Pfd., in der Richtung Ax und die Kraft $Q = 3$ Pfd. in der Richtung Ay . Zerlegt man P in die Seitenkräfte $S = 3$ Pfd. und $R = 2$ Pfd., so halten sich (nach a) §. 78) die Kräfte S und Q das Gleichgewicht und es verhält sich die Sache so als ob auf A nur die Kraft $R = P - Q$ allein wirken möchte.

Fig. 83.



2. Die Mittelkraft von zwei Kräften, welche auf einen Punkt nach gerade entgegengesetzter Richtung wirken, ist gleich dem Unterschied der Seitenkräfte und mit der grösseren Seitenkraft gleich gerichtet.

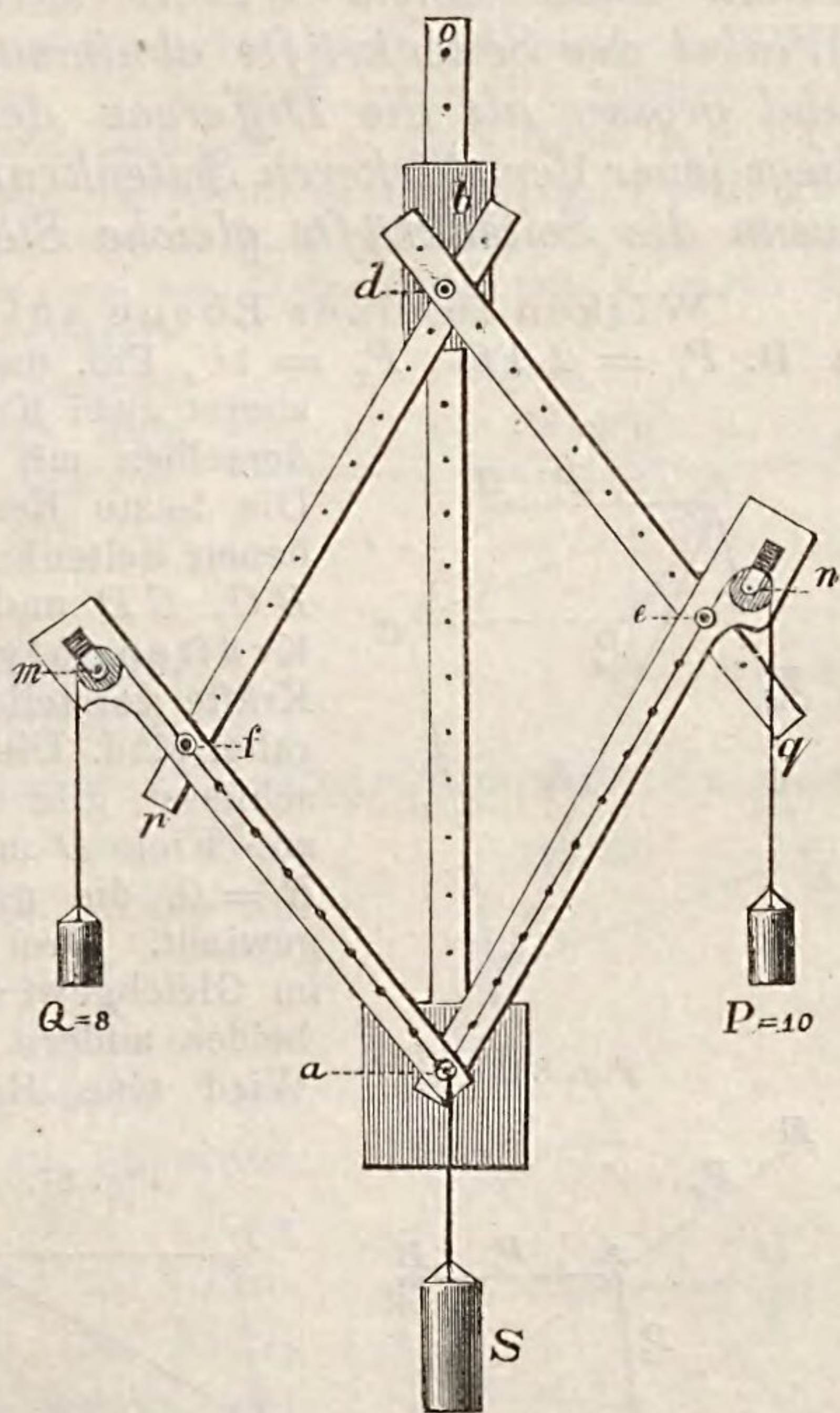
Aus 1. und 2. ergibt sich:

3. Wirken auf einen Punkt nach gerade entgegengesetzten Richtungen mehrere Kräfte, so summiert man die Kräfte, welche nach der einen, und ebenso die Kräfte, welche nach der andern Seite hinwirken; durch den Unterschied dieser Summen wird die Stärke, durch die Richtung der grösseren Summe die Richtung der Resultierenden aller gegebenen Kräfte bestimmt.

Was besagt es, wenn in den letzten zwei Fällen die Resultierende Null ist? — Können Kräfte, welche auf einen Punkt in derselben Richtung wirken, im Gleichgewichte stehen? —

Zwei in Zolle getheilte und in jedem Theilstrich durchlöchernte Holzstäbe am und an (Fig. 84) seien um den Stift bei a drehbar. An dem ebenfalls getheilten und durchlöchernten Stab ao lässt sich eine Hülse b , mit welcher die um den Stift d drehbaren Stäbe dp und dq verbunden sind, auf- und abschieben. dp und dq lassen sich durch die Stifte e und f mit am und an verbinden, so dass man aus den Stäben leicht verschiedene Parallelogramme bilden kann. Bei m und n sind Rollen angebracht, um welche eine Schnur gelegt ist, an welche sich Gewichte P, Q, S anhängen lassen.

Fig. 84.



Versuch. Man bilde ein Parallelogramm, dessen Seiten z. B. 8 und 10 Zoll lang sind, hänge an die beiden Schnurenden die Gewichte $P = 10$ Loth und $Q = 8$ Loth; der mit a zusammenfallende Punkt der Schnur sucht sich dann in der Richtung der Diagonale des

Parallelogramms aufwärts zu bewegen. Wird nun ferner in a ein Gewicht S angehängt, welches so viele Gewichtseinheiten als die Diagonale des Parallelogramms Zolle enthält und in der Verlängerung der Diagonale wirkt, so legt sich die Schnur gerade vor ae und af und der Punkt a der Schnur bleibt in Ruhe. Der Kraft S wird also durch die Kräfte P und Q das Gleichgewicht gehalten. Dieser Kraft S kann aber auch durch eine Kraft R , welche jener gleich ist und auf a in der Richtung ao wirkt, das Gleichgewicht gehalten werden. R bringt also genau dieselbe Wirkung hervor wie P und Q zusammengekommen; folglich ist R die Mittelkraft von P und Q . Man kann sich ferner überzeugen, dass R der grösseren Kraft zunächst, dass R der Summe der Componenten sich um so mehr nähert, einen je spitzeren Winkel die Schnurtheile einschliessen, dass hingegen R dem Unterschiede $P - Q$ um so näher kommt, je stumpfer der Winkel bei a ist.

4. Die Mittelkraft zweier auf einen Punkt unter einem Winkel wirkender Kräfte wird ihrer Richtung und Stärke nach durch die Diagonale eines Parallelogramms dargestellt, dessen Seiten die Richtungen und Intensitäten der Componenten angeben. Ein solches Parallelogramm heisst ein *Kräftenparallelogramm*. Aus dem obigen Versuche folgt ferner: a) Die Resultierende zweier auf einen Punkt unter einem Winkel wirkenden Kräfte wächst, wenn der Winkel der Seitenkräfte abnimmt, bleibt aber kleiner als die Summe, und grösser als die Differenz der Componenten. b) Ihre Richtung liegt jener der stärkeren Seitenkraft zunächst und halbiert den Winkel, wenn die Seitenkräfte gleiche Stärke besitzen.

Wirken in einer Ebene auf einen Punkt mehr als zwei Kräfte z. B. $P_1 = 2$ Pfd, $P_2 = 1\frac{1}{2}$ Pfd. und $P_3 = 3\frac{3}{4}$ Pfd. (Fig. 85), so setzt man

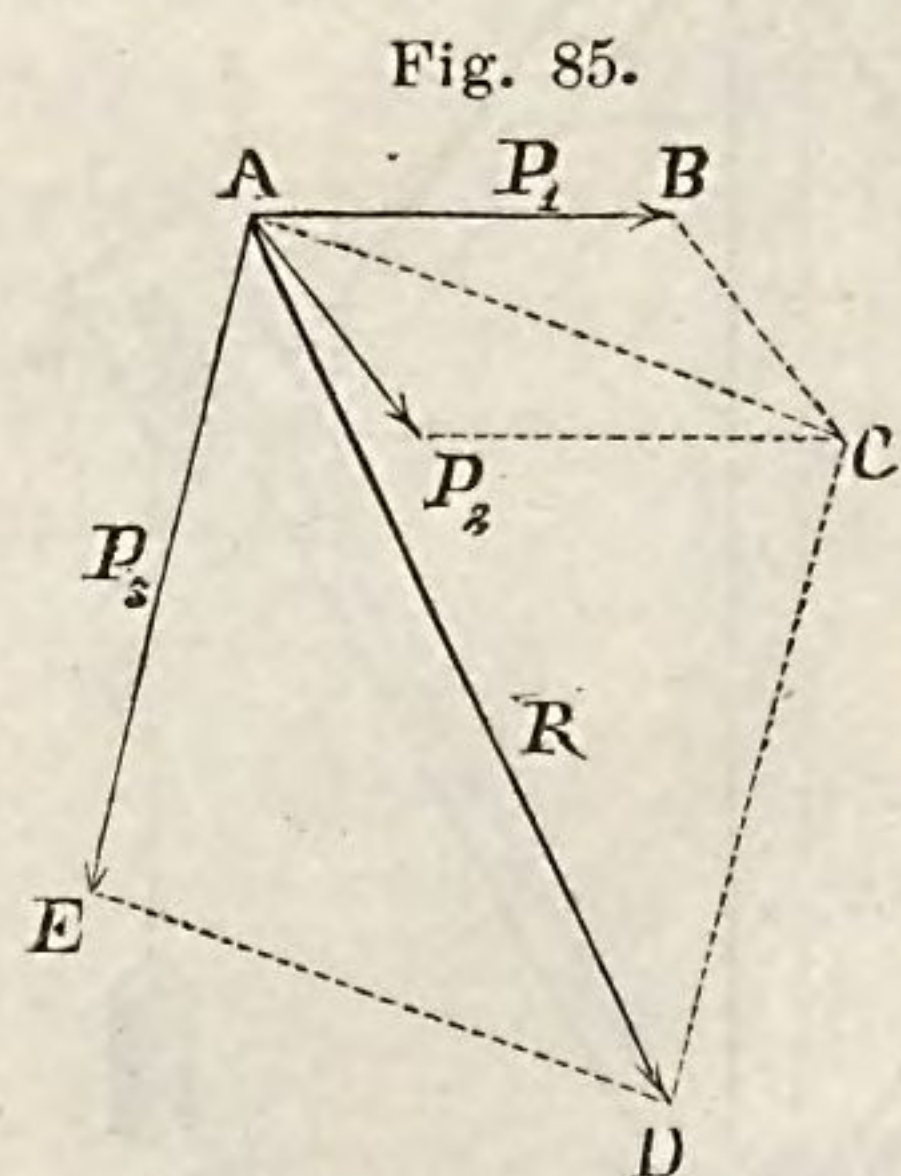


Fig. 85.

zuerst zwei Kräfte z. B. P_1 mit P_2 , die Resultierende derselben mit der dritten Kraft P_3 u. s. w. zusammen. Die letzte Resultierende ist die Mittelkraft der gegebenen Seitenkräfte. Man braucht dabei nur die Linien BC , CD und DA zu ziehen; dieselben bilden das Kräftepolygon, dessen Seiten die Intensitäten der Kräfte vorstellen und den Richtungen der letzteren parallel sind. Die Seite, welche endlich die Polygonallinie schliesst, gibt die Stärke und Richtung der Resultierenden an. Fiele D mit A zusammen wie in Fig. 86, so wäre $R = 0$, die gegebenen Kräfte hielten sich das Gleichgewicht. Drei auf einen Punkt wirkende Kräfte stehen im Gleichgewicht wenn eine Kraft der Resultierenden der beiden andern gleich und gerade entgegengesetzt ist. —

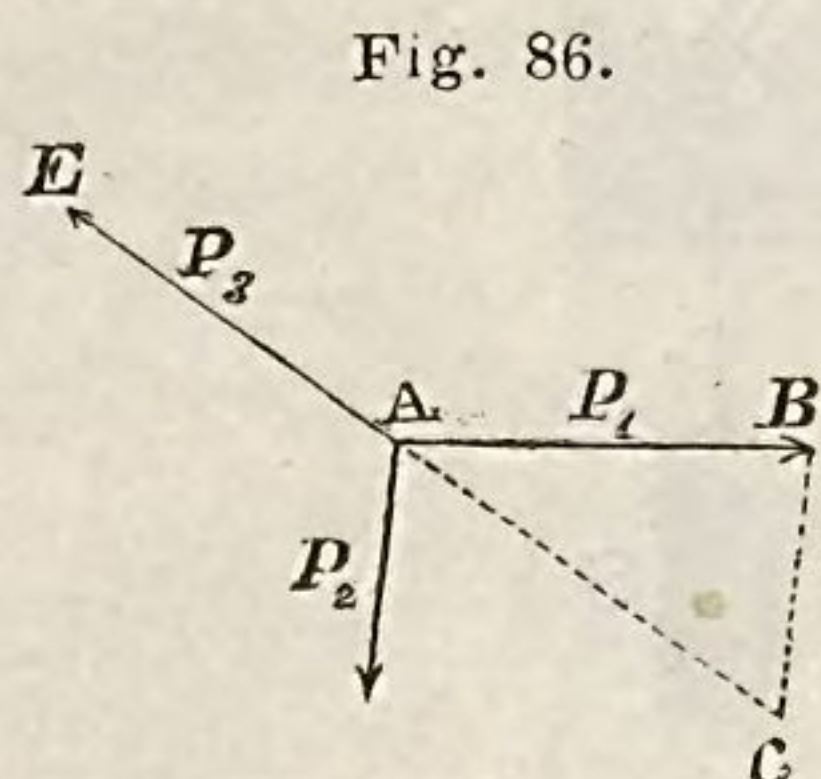


Fig. 86.

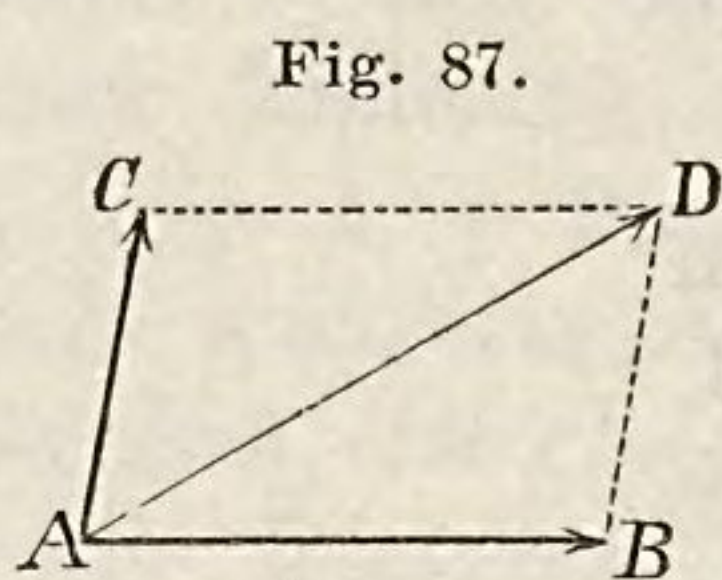


Fig. 87.

Wird eine Ramme durch mehrere Menschen bewegt, welche an mehreren mit dem Hauptseil verbundenen Nebenseilen ziehen, so müssen diese mit jenem einen möglichst kleinen Winkel bilden, damit die Mittelkraft möglichst gross werde.

81. Zerlegung der Kräfte.

Die Strecke AD (Fig. 87) stelle eine Kraft R der Stärke und Richtung nach vor. Zieht man durch den Angriffspunkt A zwei Gerade AB und AC , und

von D aus $DC \parallel AB$, $BD \parallel AC$, so kann $ABCD$ als ein Kräfteparallelogramm angesehen werden, worin AC und AB die Seitenkräfte von AD sind. R erscheint also in zwei unter einem Winkel wirkende Kräfte zerlegt. Weil aber eine gegebene Gerade die Diagonale von unzählig vielen Parallelogrammen sein kann, so ist ersichtlich, dass sich eine Kraft auf beliebig viele Arten in zwei Kräfte zerlegen lasse. Die Zerlegung ist jedoch nur auf eine Art möglich, wenn die Richtungen, oder die Stärke der beiden Seitenkräfte, oder die Stärke und Richtung non nur einer Seitenkraft im vorhinein festgesetzt sind.

Beispiele: Auf einer gegen die horizontale BC geneigten Ebene, d. i. auf einer sogenannten schiefen Ebene AB liege ein Körper (Fig. 88), dessen Gewicht $Q = 4$ Pfd. im Schwerpunkte S angreift und vertical abwärts wirkt;

Fig. 88.

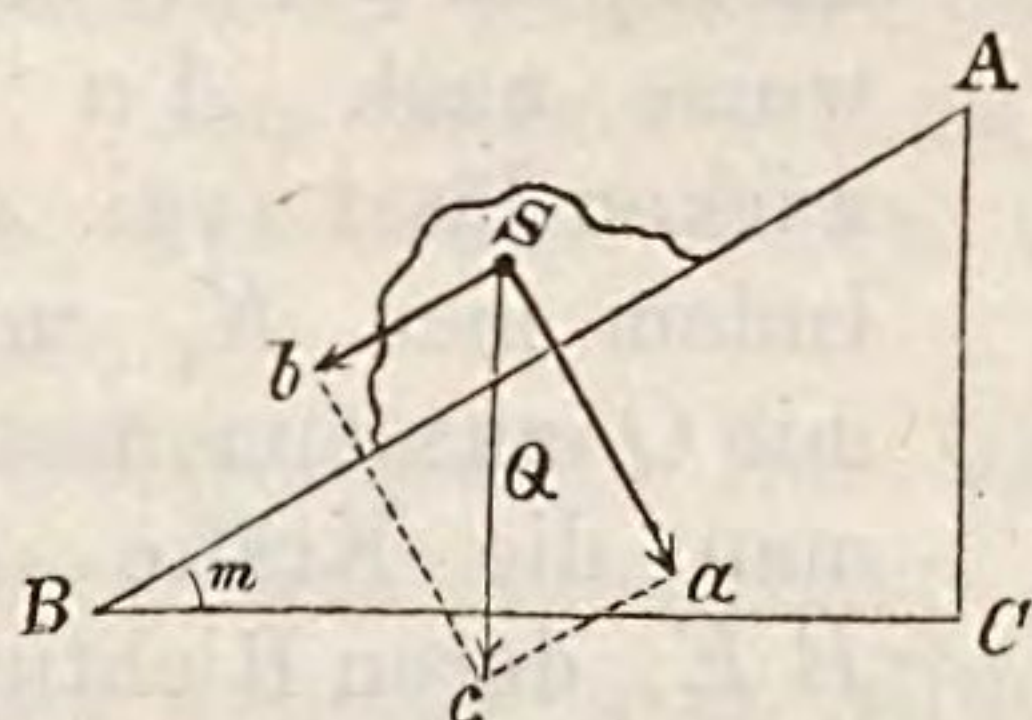
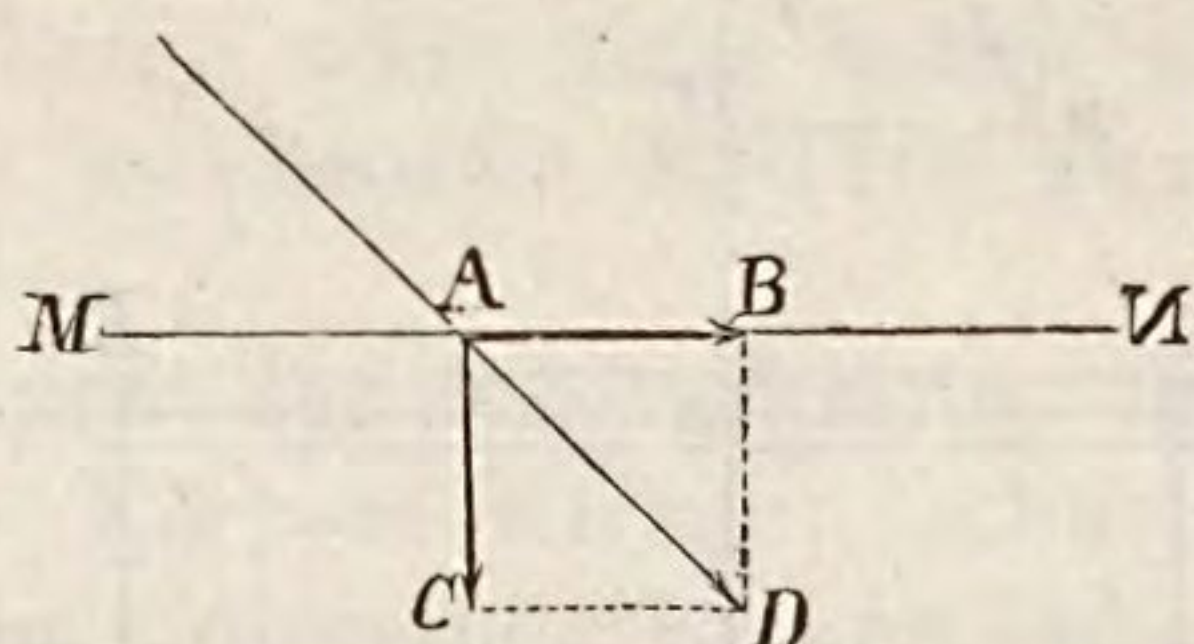
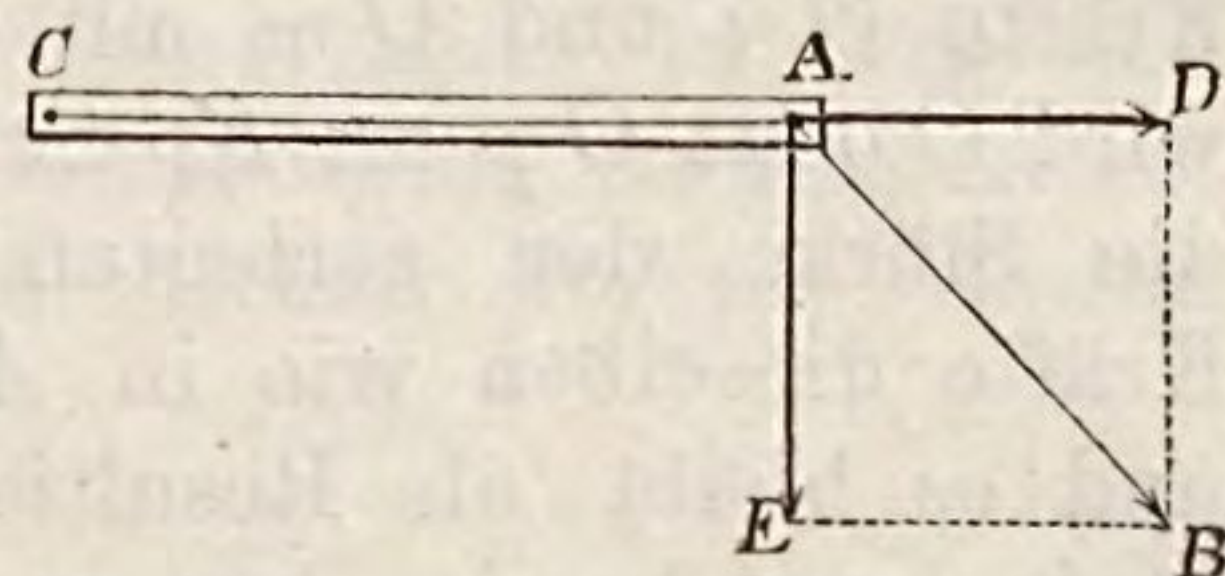


Fig. 89.



man zerlege die Kraft Q in eine auf AB senkrechte und eine zu AB parallele Componente. Ist $Sc = Q = 4$, und $ca \parallel Sb \parallel AB$, $cb \parallel Sa \perp AB$, so sind Sa und Sb die verlangten Componenten. Sa wirkt drückend auf AB , Sb sucht den Körper längs der schiefen Ebene herabzubewegen. Weise nach, dass Sb wächst, wenn der Neigungswinkel m der schiefen Ebene zunimmt. — Eine Kraft $R = AD$ (Fig. 89) wirke in der Richtung AD gegen die Ebene MN , welchen Druck wird MN zu erleiden haben und welche Componente sucht den Punkt A gegen N hin zu bewegen? — Die Stange CA (Fig. 90) sei um C drehbar; auf A wirke die Kraft AB . Zerlegt man AB in die Componente $AE \perp CA$, und in die Componente AD , welche in der Richtung CA wirkt, so ersieht man, dass letztere durch die Festigkeit der Drehungsaxe aufgehoben wird, und dass nur die AE auf CA drehend wirkt. —

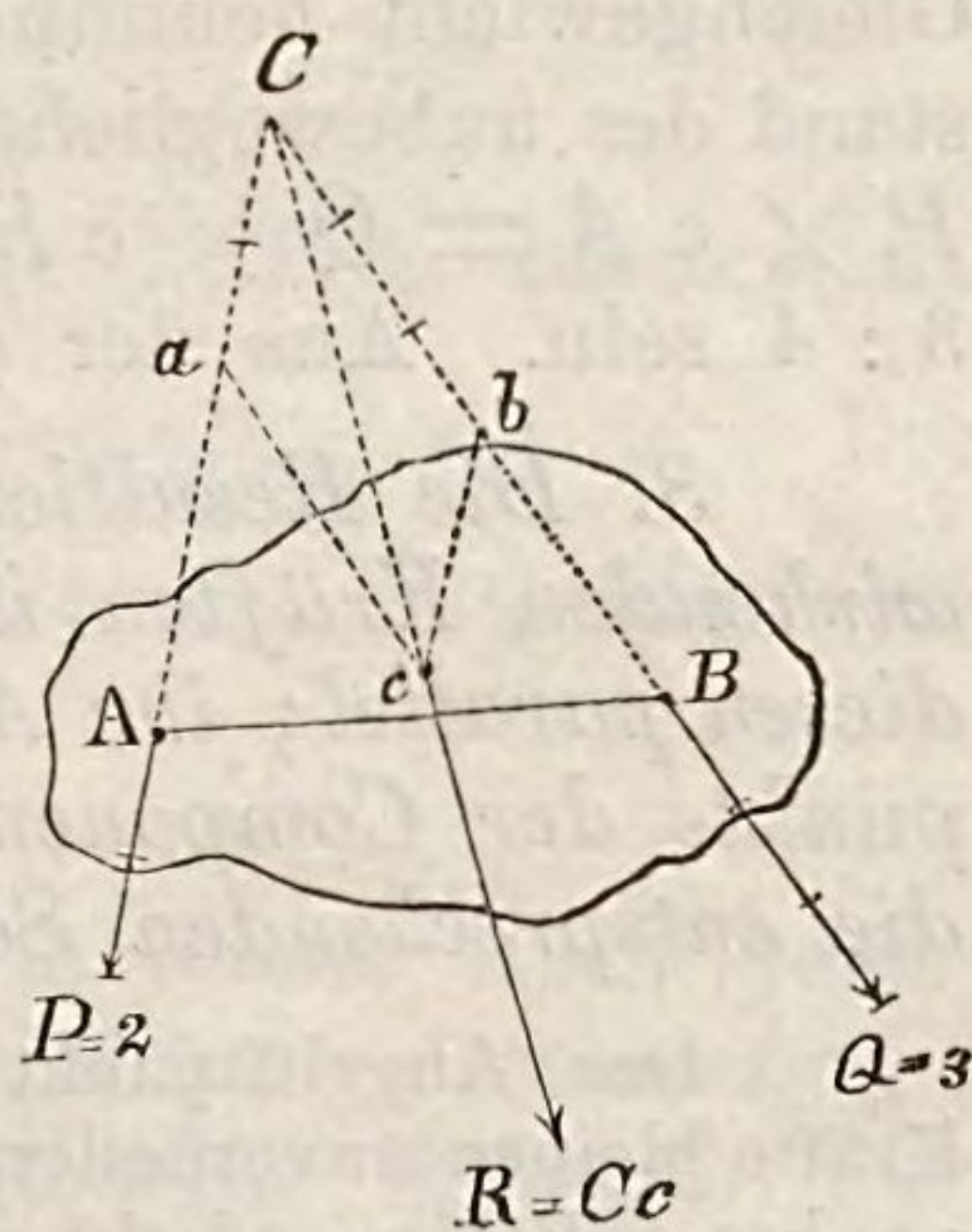
Fig. 90.



82. Zusammensetzung von Kräften, welche verschiedene mit einander verbundene Angriffspunkte haben. 1. Liegen die Angriffspunkte in einer Geraden, welche mit den Richtungen der Kräfte zusammenfällt, so gelten die Sätze 1, 2, und 3 des §. 80.

Im entgegengesetzten Falle können die Richtungen der Kräfte entweder in ihren Verlängerungen sich schneiden, oder zu einander parallel sein. — Auf die Punkte A, B eines Körpers (Fig. 91) wirken die Kräfte $P = 3$ Pfd. und $Q = 4$ Pfd. Man verlängere die Richtungen, welche wir in einer Ebene liegend annehmen, bis zum Durchschnittspunkt C , und denke sich C mit A und B fest verbunden. Man kann nun die Angriffspunkte der Kräfte

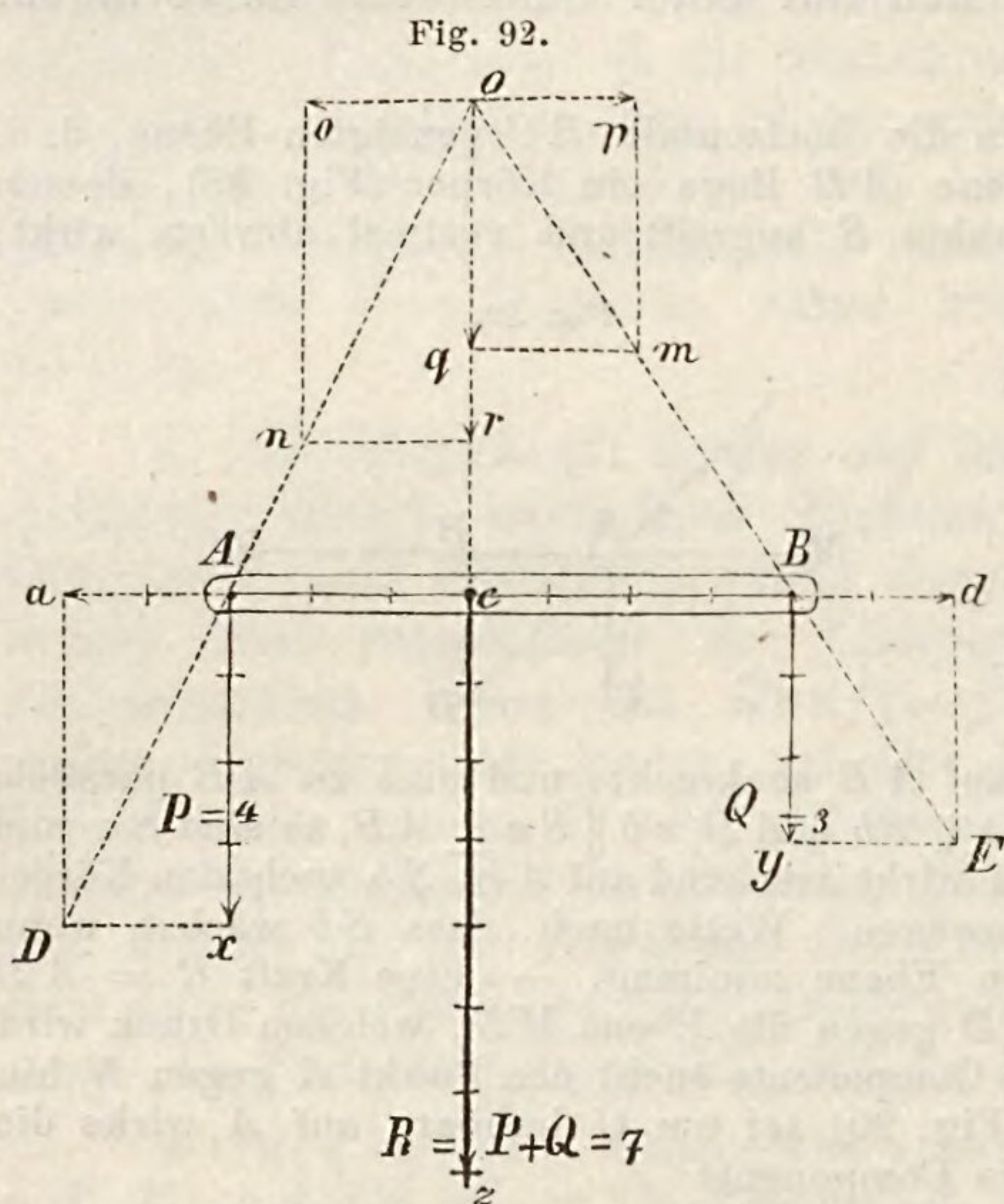
Fig. 91.



nach C verlegen und hat daher zwei unter einem Winkel wirkende Kräfte, die man nach 4. §. 80 mit Hilfe des Parallelogramms ab zusammensetzen kann.

2. Kräfte, die auf zwei fest verbundene Punkte in convergierenden Richtungen wirken, werden nach dem Satze vom Kräfteparallelogramm (4. §. 80) zusammengesetzt.

AB (Fig. 92) sei ein Stab; auf dessen Endpunkte die Kräfte $P = 4$ Pfd. und $Q = 3$ Pfd. in den auf AB senkrechten, also



parallelen Richtungen Ax und By wirken. Die Wirkung dieser Kräfte wird offenbar nicht gestört, wenn man in A und B die Kraft $K_1 = K_2 = 2$ Pfd. beziehungsweise nach Aa und Bd wirken lässt (vgl. a. §. 78). Indem man K_1 mit P , K_2 mit Q zusammensetzt, erhält man die Kräfte AD und BE , deren Richtungen sich in O schneiden. Man kann nun, O mit A und B verbunden gedacht, die Angriffspunkte der Kräfte AD und BE nach O verlegen. Macht man $On = AD$, $Om = BE$, $op \parallel AB$, $Oz \parallel Ax \parallel Ay$ und zerlegt man die

Kräfte On und Om mit Hilfe der Parallelogramme onr und pmq ; so wird $OO = Op = K_1 = 2$, $Or = P = 4$, $Oq = Q = 3$ sein, weil die Stärke der zerlegten Kräfte und die Richtungen der einzelnen Kräfte dieselben wie in A und B sind. Oo und Op heben sich auf und es bleibt als Resultierende $Or + Oq = P + Q = R = 7$ übrig, welche in der zu den Componenten parallelen Richtung Oz wirkt und deren Angriffspunkt nach c zu verlegen ist. — Denkt man sich c für einen Augenblick fest gemacht, so stellt AB einen im Gleichgewicht befindlichen Hebel vor (denn R wird durch den Widerstand des unbeweglichen Punktes c aufgehoben); es muss daher (§. 9, 3.) $P \times cA = Q \times cB$ oder $4 \times cA = 3 \times cB$ d. i. $cA : cB = 3 : 4$ sein. Aus der ganzen Betrachtung folgt:

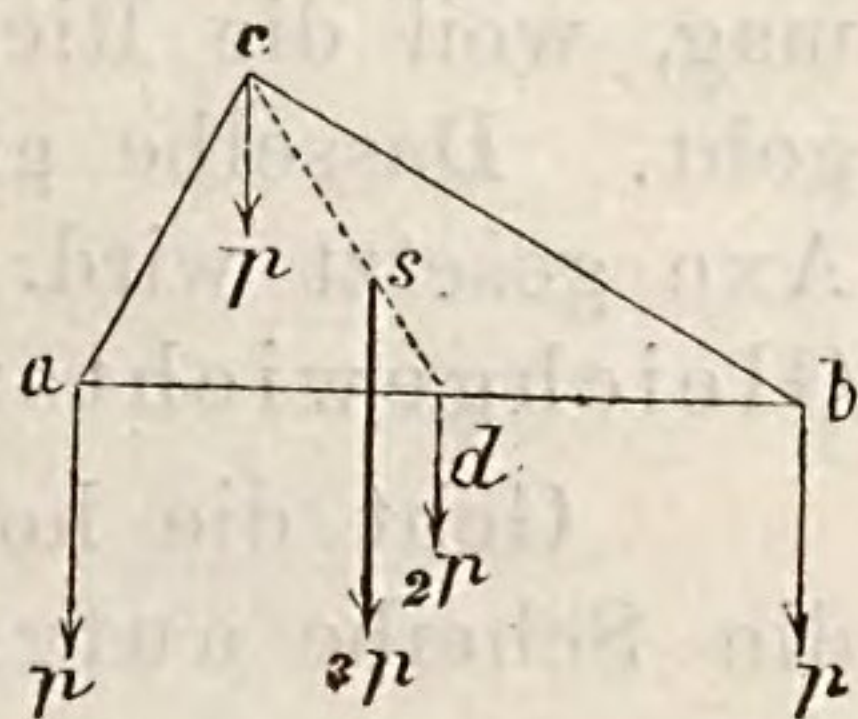
3. Die Resultierende von zwei parallelen, nach derselben Seite wirkenden Kräften ist gleich der Summe der Componenten und zu diesen parallel; ihr Angriffspunkt theilt die Entfernung der Angriffspunkte der Componenten in zwei Theile, welche sich umgekehrt wie die entsprechenden Seitenkräfte verhalten.

Der Angriffspunkt und die Stärke der Resultierenden zweier parallelen Kräfte bleiben unverändert, wenn die Richtungen der Componenten um die Angriffspunkte beliebig gedreht werden, vorausgesetzt dass die Seitenkräfte ihre Stärke

beibehalten und zu einander parallel bleiben. Der Angriffspunkt der Resultierenden paralleler Kräfte heisst deshalb auch Mittelpunkt der parallelen Kräfte. Wo liegt der Angriffspunkt der Resultierenden wenn die Componenten gleich stark sind?

In den mit einander verbundenen Punkten a, b, c (Fig. 93) wirken drei gleiche Kräfte $p = 1$ Pfd. vertical abwärts. Die Gewichte in a und b geben die Mittelkraft $2p = 2$ Pfd., welche in d angreift, wofern $ad = db$ ist; diese Kraft $2p$ kann man mit der dritten Kraft p in c zusammensetzen; dabei ergibt sich die Resultierende $r = 2p + p = 3p = 3$ Pfd., deren Angriffspunkt s die cd so theilt, dass $ds : sc = 1 : 2$ ist. Wollte man abc z. B. vor dem Fallen schützen, so müsste man in s vertical aufwärts eine Kraft $= 3$ Pfd. wirken lassen oder auch den Punkt s durch Unterstützen oder Aufhängen festhalten. Aus diesem ist zu ersehen, wie man mehr als zwei parallele, nach derselben Seite wirkende Kräfte zusammensetzen kann.

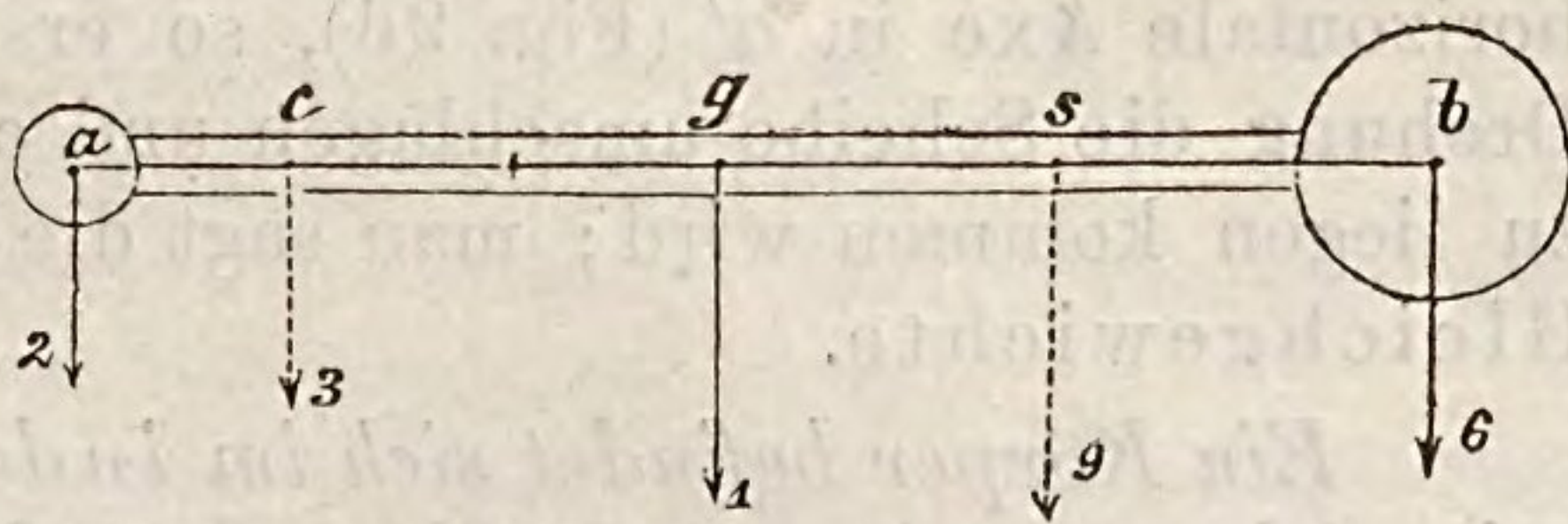
Fig. 93.



83. Schwerpunkt. Die Richtungen der Schwerkkräfte, welche auf die einzelnen Massentheilchen eines Körpers wirken, schneiden sich zwar streng genommen im Erdcentrum; dieselben können jedoch wegen der Kleinheit der gewöhnlichen Körper im Vergleiche zum Erddurchmesser als parallel angesehen werden. *Die Schwerkkräfte, welche auf die Massentheilchen des Körpers einwirken, können daher durch eine Resultierende, welche der Summe der Gewichte der einzelnen Massentheilchen gleich ist, ersetzt werden. Im Angriffspunkte dieser Resultierenden d. i. im Schwerpunkte kann man sich das ganze Gewicht des Körpers vereinigt denken.* (Vergl. §. 7). Die durch den Schwerpunkt gehende Verticale heisst man vorzugsweise die Richtungslinie der Schwere, weil der Schwerpunkt in derselben zu fallen strebt oder wirklich fällt, wenn kein Hindernis vorhanden ist.

An den Enden eines durchaus gleich dicken Stabes, dessen Gewicht 1 Pfd. ist, seien die Massen $a = 2$ Pfd. und $b = 6$ Pfd. angebracht (Fig. 94); man suche den Schwerpunkt dieser drei mit einander verbundenen Körper. Der Schwerpunkt des Stabes liegt in der Mitte g , sein Gewicht 1 Pfd. setze man mit dem Gewichte 2 Pfd. zusammen;

Fig. 94.



die Resultierende $= 3$ Pfd. greift in c an, wenn $ac = \frac{1}{3} ag$ ist. Die Mittelkraft von den Gewichten 3 Pfd. und 6 Pfd. ist $= 9$ Pfd. und ihr Angriffspunkt s macht $bs = \frac{1}{3} bc$.

Der Schwerpunkt eines Körpers liegt also immer nach jener Seite hin, wo die grössere Masse sich befindet, und ändert seine Lage, wenn in der Vertheilung der Masse eine Änderung erfolgt. Der Schwerpunkt des menschlichen Körpers, welcher gegen die Mitte des

Unterleibes liegt, wird z. B. nach rechts verrückt, wenn der Mensch den rechten Arm ausstreckt, oder den Oberkörper nach rechts neigt.

84. Gleichgewicht eines schweren Körpers. Wird eine Scheibe im Schwerpunkte, welcher mit dem Mittelpunkte c zusammenfällt, mit einer horizontalen Axe versehen, so bleibt die Scheibe stets im Gleichgewichte, welche Stellung auch derselben durch Drehen gegeben werden mag, weil die Richtungslinie der Schwere immer durch die feste Axe geht. Dasselbe gilt auch, wenn die Scheibe in c auf eine verticale Axe gesetzt wird. (Vgl. Versuch a) §. 7) Man nennt einen solchen Gleichgewichtszustand indifferent.

Geht die horizontale Axe durch den Punkt a (Fig. 95), d. h. ist die Scheibe aufgehängt und man hebt dieselbe, so dass der Schwer-

Fig. 95.

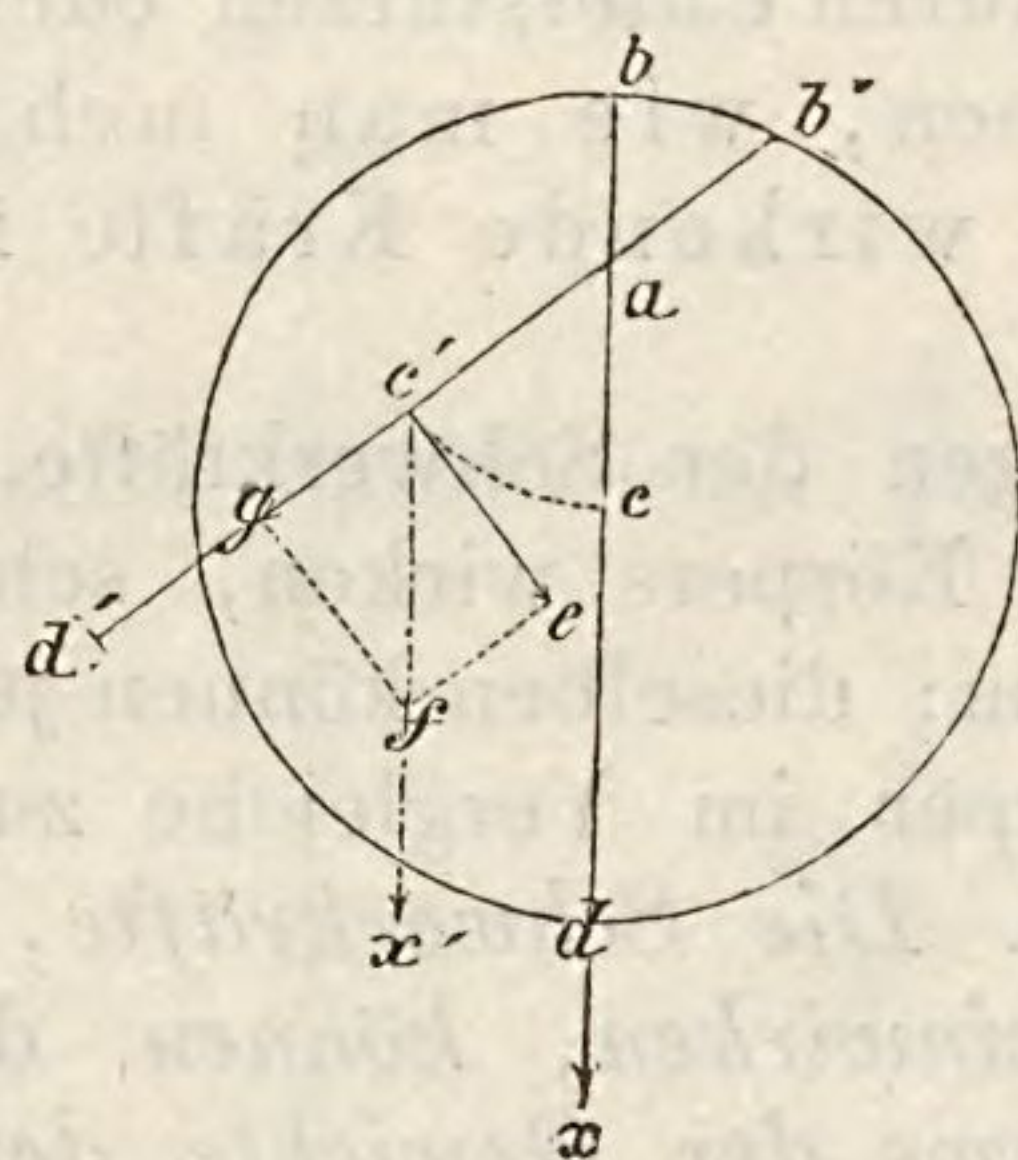
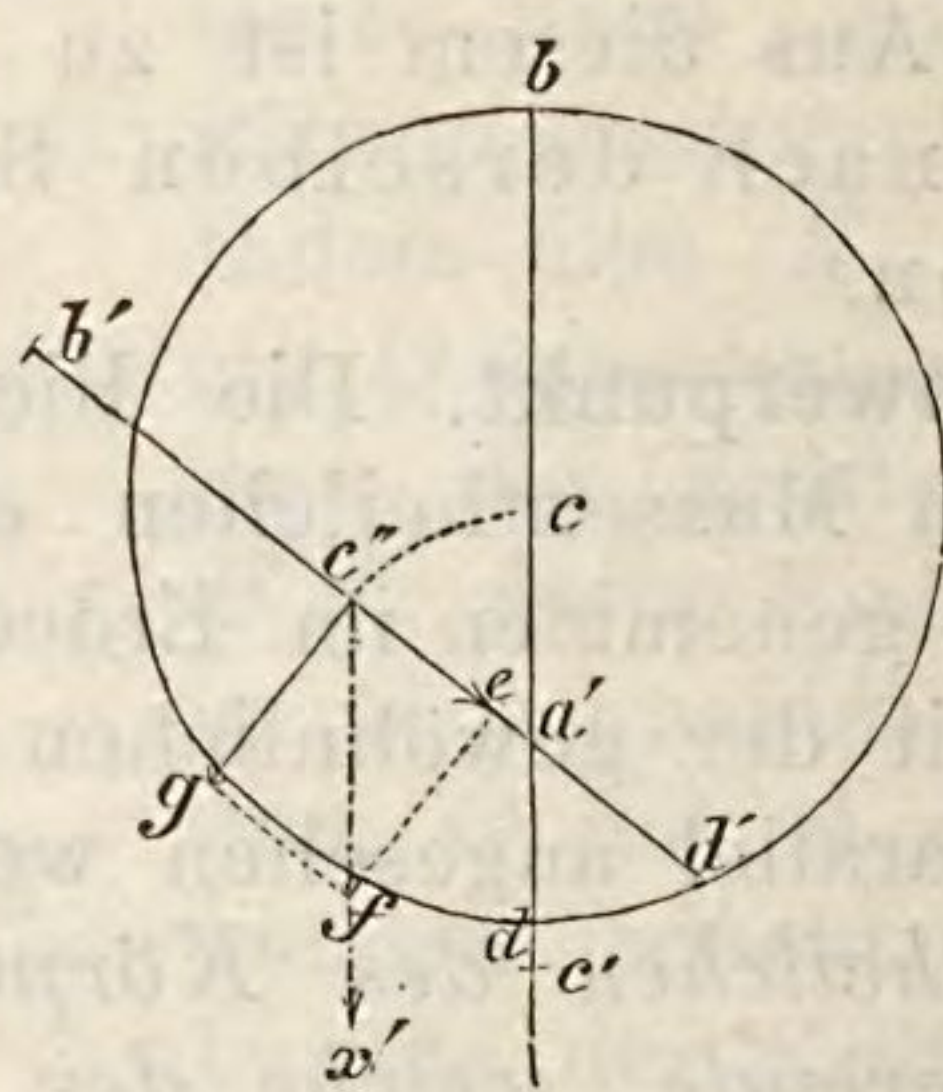


Fig. 96.



punkt c z. B. nach c' , also höher zu liegen kommt, so geht die Richtungslinie der Schwere $c' x'$ nicht mehr durch die Axe. Zerlegt man nun das Gewicht der Scheibe, welches durch $c' f$ vorgestellt sein mag, in die rechtwinkligen Componenten $c' g$ und $c' e$, so erkennt man, dass jene durch die Festigkeit der Axe aufgehoben wird, während $c' e$ die Scheibe in die alte Lage gegen c hin zurückdreht. Die Scheibe wird nach einigen Schwankungen in der That in die frühere Lage zurückkehren. Das Gleichgewicht heisst stabil. — Liegt die horizontale Axe in a' (Fig. 96), so ersieht man, dass bei der geringsten Drehung die Scheibe umschlagen und c in die möglichst tiefe Lage c' zu liegen kommen wird; man sagt die Scheibe befinde sich im labilen Gleichgewichte.

Ein Körper befindet sich im indifferenten Gleichgewichte, wenn sein Schwerpunkt unmittelbar festgehalten wird. Das Gleichgewicht eines Körpers ist stabil, wenn sein Schwerpunkt unter dem festen Punkte liegt, d. i. wenn der Körper aufgehängt ist; hingegen ist das Gleichgewicht eines Körpers im allgemeinen labil, wenn sein Schwerpunkt oberhalb des festen Punktes liegt, d. i. wenn er unterstützt ist.

Im indifferenten Gleichgewichte befinden sich Wasser- und Wagenräder; eine Kugel welche auf einer horizontalen Fläche liegt, denn bei dieser geht die Richtungslinie stets durch den Stützpunkt. In welchem Gleichgewichte befindet sich ein Cylinder, welcher mit der Mantelfläche auf dem Tische liegt? — Der Wagebalken ist im stabilen, ein auf die Spitze gestellter Kegel im labilen Gleichgewichte. Oft scheint ein Körper unterstützt zu sein und doch ist er aufgehängt,

wie diess bei dem in Fig. 97 abgebildeten Körpersystem $a b C$ der Fall ist. a, b sind Bleikugeln, welche durch Drähte mit dem auf der Spitze ruhenden Kegel C verbunden sind. Der Schwerpunkt liegt hier unterhalb der Spitze d , und das Gleichgewicht ist sehr stabil, weil bei jeder Neigung von C der Schwerpunkt ge-

Fig. 97.

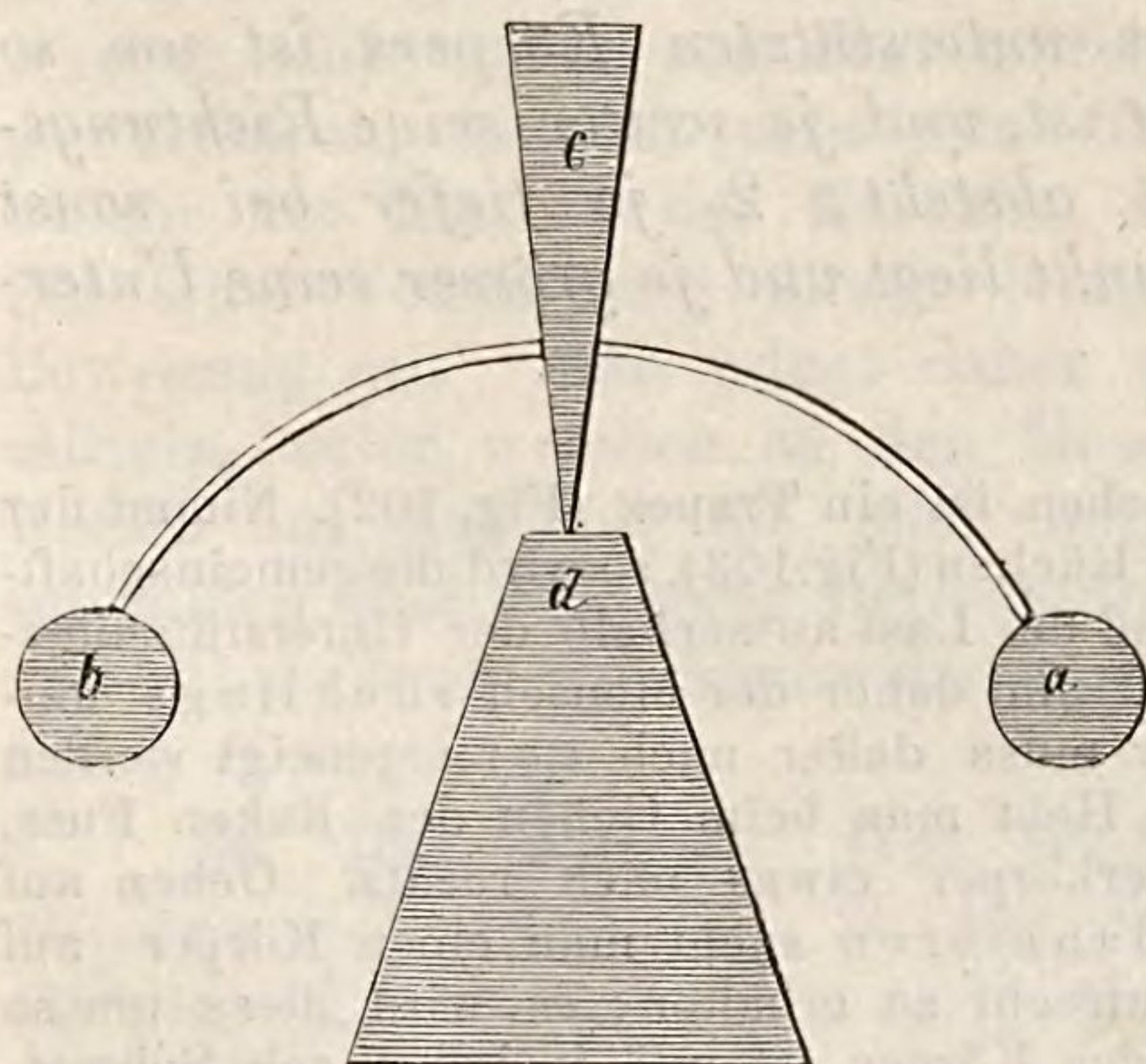
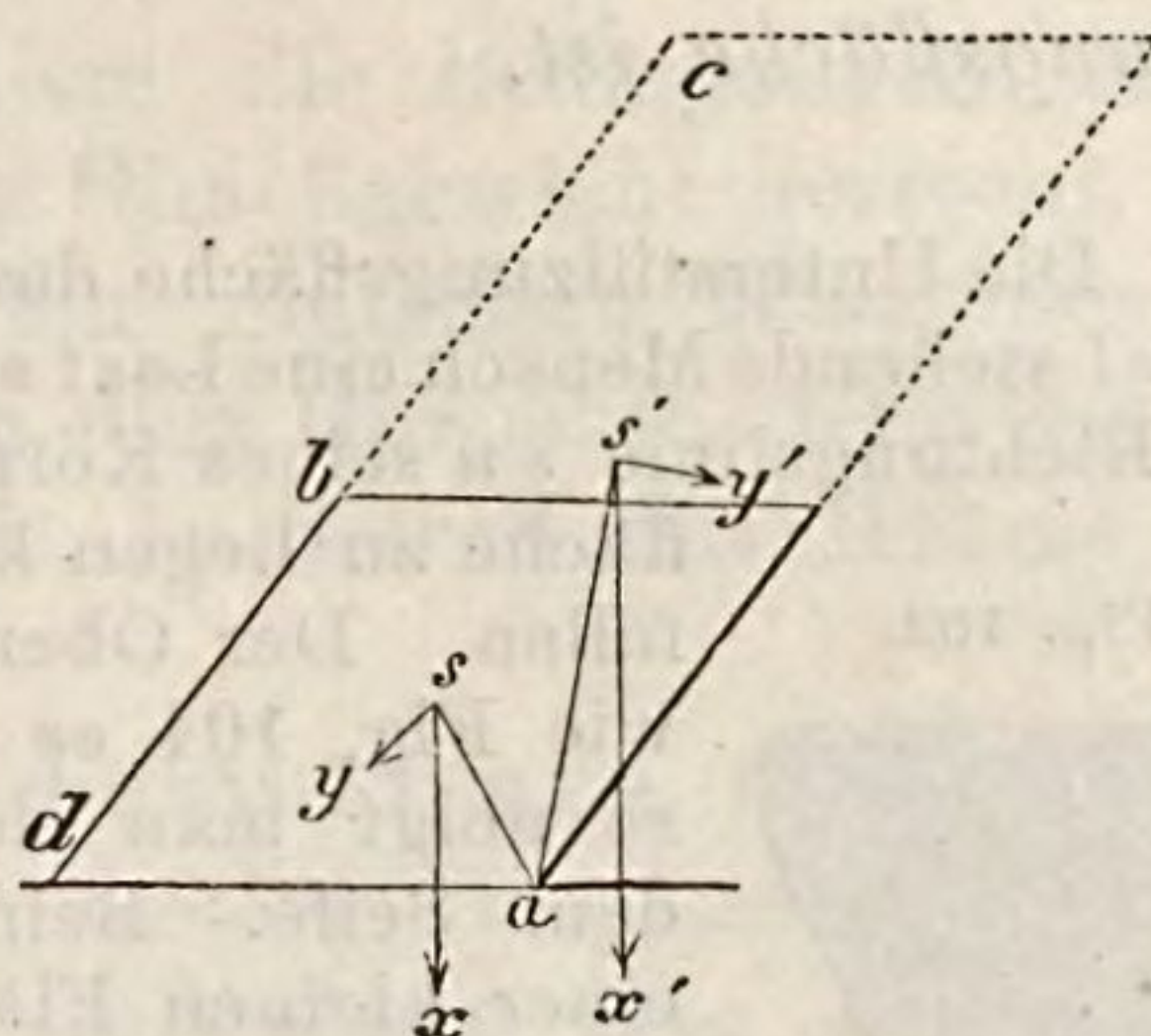


Fig. 98.



hoben wird. Stehaufmännchen. Schiffslampe.

Bei dem Körper $a b$ (Fig. 98), welcher in mehreren Punkten unterstützt ist, wird die Unterstützungsfläche $a d$ von der Richtungslinie $s x$ des Körpers noch getroffen; das Gewicht des Körpers, welches in s angreift, sucht diesen in seiner Ruhelage zu erhalten und die Gerade $a s$ im Sinne des Pfeiles $s y$ zu drehen. Geht die Richtungslinie nicht mehr durch die Basis, wie das beim Körper $a c$ der Fall ist, so wird der Körper durch sein Gewicht im Sinne des Pfeiles $s' y'$ um die Kante a gedreht; der Körper fällt um.

Es werde der Körper $a b$ (Fig. 99) durch eine Kraft p um a gedreht, so dass s nahe zu s' hinkommt; derselbe kehrt in die frühere Lage zurück, sobald p zu wirken aufhört; hingegen fällt der Körper um, wenn p so lange wirkt bis s nur etwas über s' , z. B. nach s'' gekommen. Der Körper steht demnach um so fester, eine je grössere Kraft angewendet werden muss, um ihn so weit zu drehen, bis seine Richtungslinie durch die Drehungskante geht. — Liegt der Schwerpunkt in S , ist also die Richtungslinie von der Drehungskante weiter entfernt als vorhin, so hat S einen grösseren Bogen zu beschreiben als im früheren Falle; es wird daher eine grössere Kraftanstrengung als vorhin erforderlich sein, um S nach S' zu drehen.

Fig. 99.

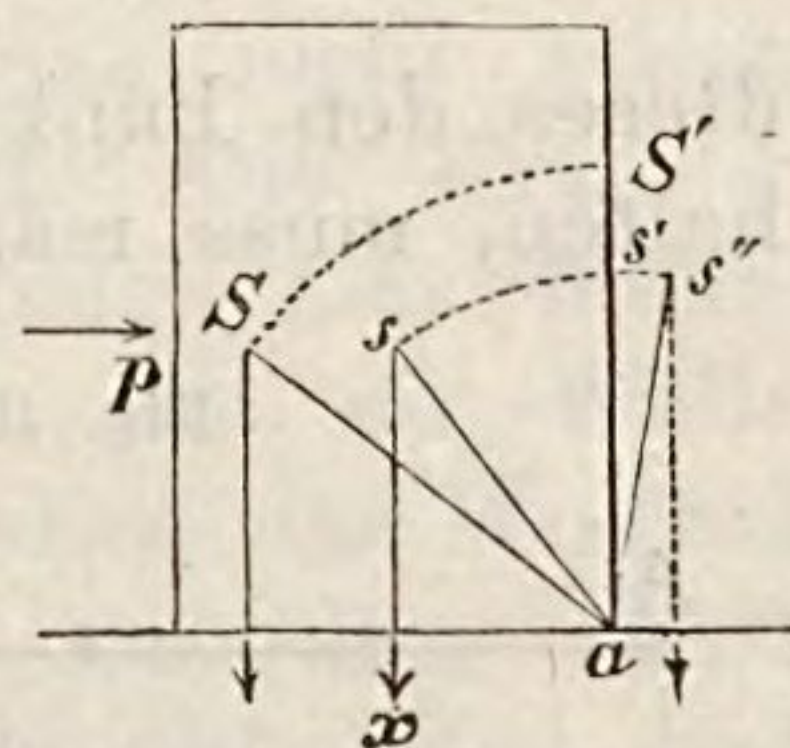


Fig. 100.

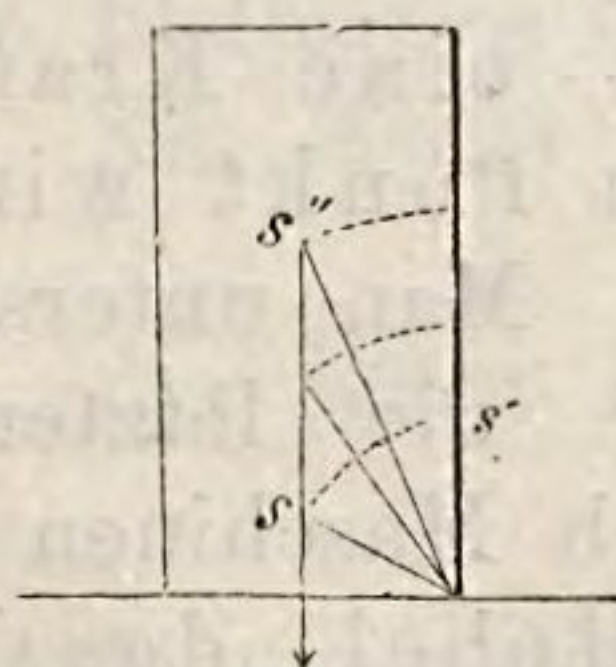
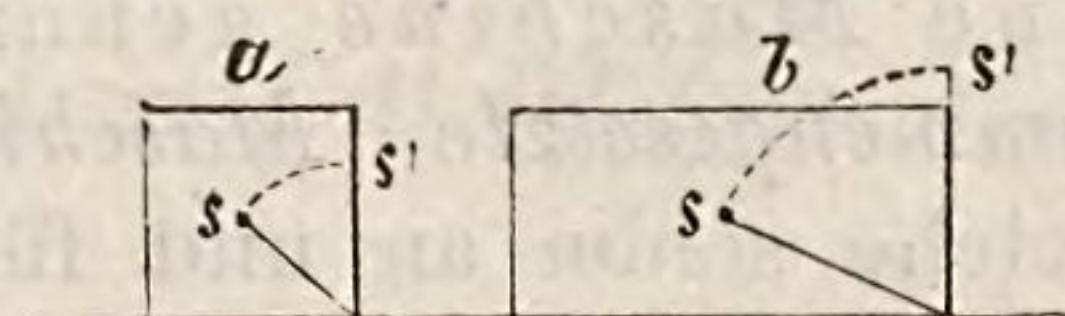


Fig. 101.



Ähnliches zeigt sich, wenn der Schwerpunkt tiefer liegt, oder wenn die Unterstützungsfläche grösser ist. Vergleiche die Figuren 100, 101; in letzterer stelle a z. B. einen Goldwürfel, b einen gleich schweren Körper aus Silber vor. Nennen wir das Bestreben eines unterstützten

Körpers in seiner Gleichgewichtslage zu verbleiben die Standfähigkeit (Stabilität), so ergeben sich die Gesetze:

Die Standfähigkeit eines unterstützten Körpers ist um so grösser: 1. je grösser sein Gewicht ist, und je weiter seine Richtungslinie von der Umdrehungskante absteht; 2. je tiefer bei sonst gleichen Umständen sein Schwerpunkt liegt und je grösser seine Unterstützungsfläche ist.

Die Unterstützungsfläche des Menschen ist ein Trapez (Fig. 102). Nimmt der vertical stehende Mensch eine Last auf den Rücken (Fig. 103), so wird die gemeinschaftliche Richtungslinie su seines Körpers und der Last ausserhalb der Unterstützungsfläche zu liegen kommen und daher der Mensch rücklings umfallen. Der Oberkörper muss daher nach vorn geneigt werden wie Fig. 104 es zeigt. Hebt man beim Gehen den linken Fuss, so neigt man den Oberkörper etwas nach rechts. Gehen auf dem Seile. Beim Balancieren sucht man einen Körper auf einer kleinen Fläche aufrecht zu erhalten; es wird diess um so leichter je gewichtiger der Körper ist und je höher sein Schwerpunkt liegt.

Fig. 102.

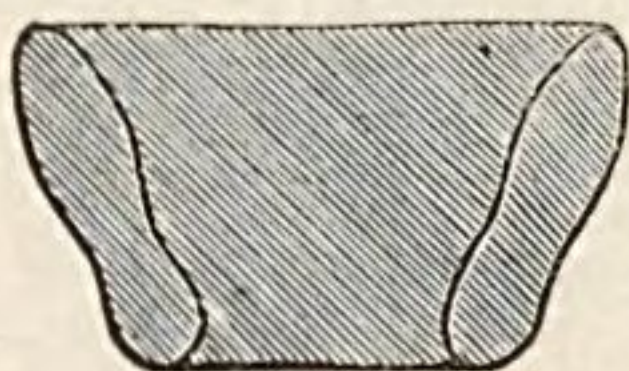


Fig. 103.

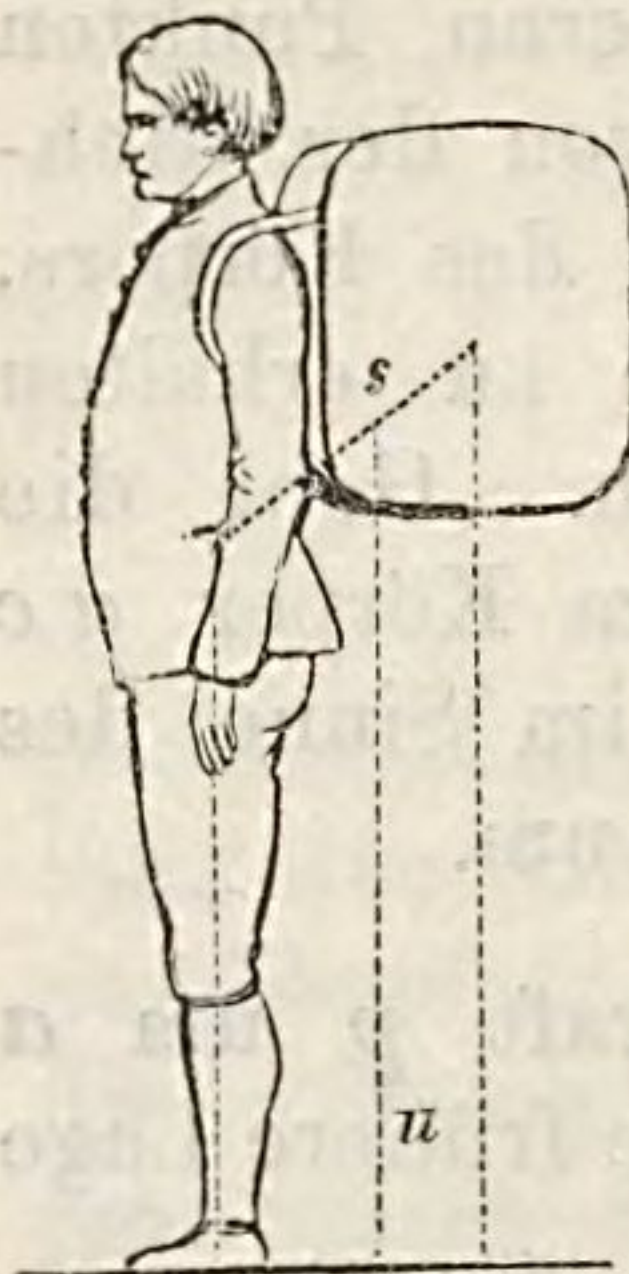


Fig. 104.

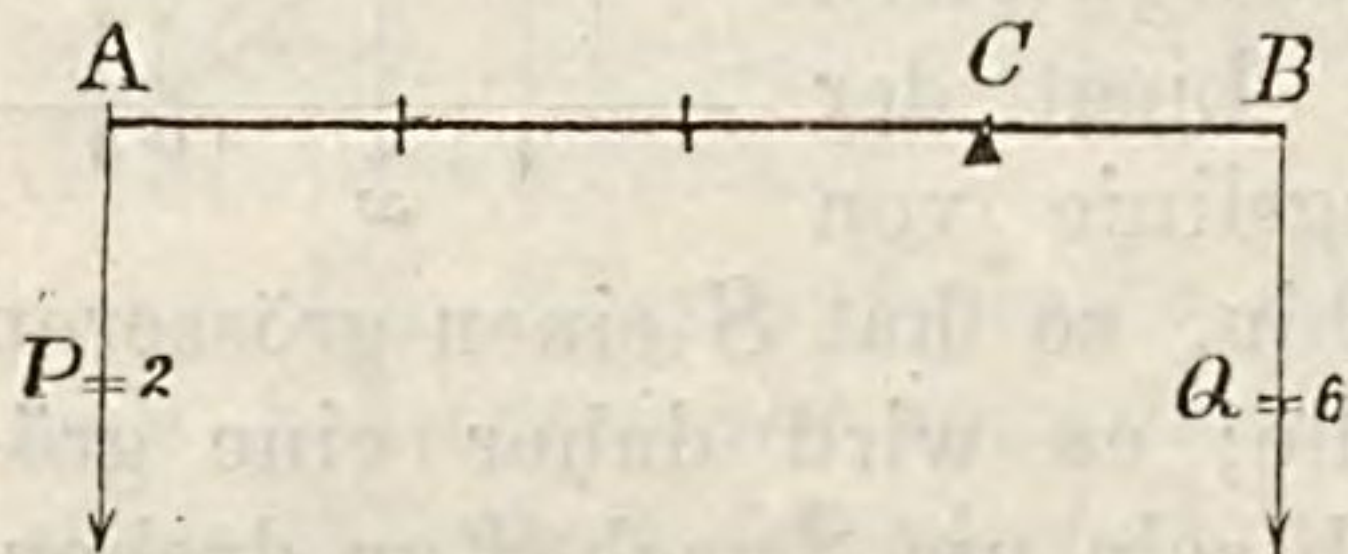


punkt liegt. — Damit Gegenstände sicher stehen, gibt man ihnen eine grosse Unterstützungsfläche, beschwert sie in ihrem unteren Theile mit Blei u. dgl. Bei Beladung der Schiffe und Wagen werden die gewichtigeren Gegenstände in die unteren Räume gelegt. Warum wird die Gefahr vermehrt, wenn man in einem Wagen aufsteht, welcher umzufallen droht? — Die Kraft, welche den Körper umzuwerfen sucht, hat offenbar ein grösseres Drehmoment je weiter oberhalb der Drehungskante sie angreift.

85. Maschine. Hängt an dem Hebel AB (Fig. 105) in B ein Gewicht $Q = 6$ Pfd., so zieht

dieses den Punkt B nach abwärts. Um B in der Ruhelage zu erhalten, muss man auf B einen Zug von 6 Pfunden vertical aufwärts ausüben; dieses kann bewirkt werden, indem man entweder unmittelbar in B eine Kraft $Q = 6$ Pfd. vertical aufwärts wirken lässt, oder statt dessen im Punkte A , dessen Abstand von C gleich $3 \times CB$ ist, die Kraft $P = 2$ Pfd. anbringt. Diese Kraft wirkt mit Hilfe des Hebels auf einen Punkt B ein, welcher ganz ausserhalb der Richtung der Kraft liegt. Jede Vorrichtung, vermittelst welcher man eine Kraft auf einen ausserhalb ihrer Richtung liegenden Punkt wirken lassen kann, wird eine *Maschine* genannt. Man unterscheidet *einfache* und *zusammengesetzte Maschinen*; die letzteren besitzen Bestandtheile, welche schon an und für sich Maschinen sind. Zu den einfachen Maschinen gehören der Hebel, das Wellrad, die Rolle, die schiefe Ebene, der Keil, die Schraube.

Fig. 105.



ganz ausserhalb der Richtung der Kraft liegt. Jede Vorrichtung, vermittelst welcher man eine Kraft auf einen ausserhalb ihrer Richtung liegenden Punkt wirken lassen kann, wird eine *Maschine* genannt. Man unterscheidet *einfache* und *zusammengesetzte Maschinen*; die letzteren besitzen Bestandtheile, welche schon an und für sich Maschinen sind. Zu den einfachen Maschinen gehören der Hebel, das Wellrad, die Rolle, die schiefe Ebene, der Keil, die Schraube.

Der Körper, welcher mit der Maschine bewegt, oder der Widerstand, welcher überwunden werden soll, heisst im Gegensatze zu der bewegendenden Kraft gewöhnlich Last. Um die Kraft, welche zur Bewegung einer gegebenen Last mittelst einer Maschine erforderlich ist, zu erfahren, braucht man nur die Stärke jener Kraft zu kennen, welche der Last an der Maschine das Gleichgewicht zu halten vermag. Bei einer Verstärkung dieser letzteren Kraft tritt an der Maschine Bewegung ein. Man pflegt daher vor allem die Bedingungen zu ermitteln, unter welchen an den Maschinen Gleichgewicht herrscht. Wir wollen uns nur auf die oben angeführten einfachen Maschinen beschränken und bei deren Betrachtung von dem Gewichte derselben und von allen Bewegungshindernissen absehen. In Betreff des Hebels wird auf §. 9 verwiesen.

86. Das Wellrad. Das Wellrad besteht aus einer kreisrunden Scheibe (Rad) *B* (Fig. 106), welche an einem Cylinder (Welle) *A* concentrisch mit diesem befestigt ist; der letztere

Fig. 106.

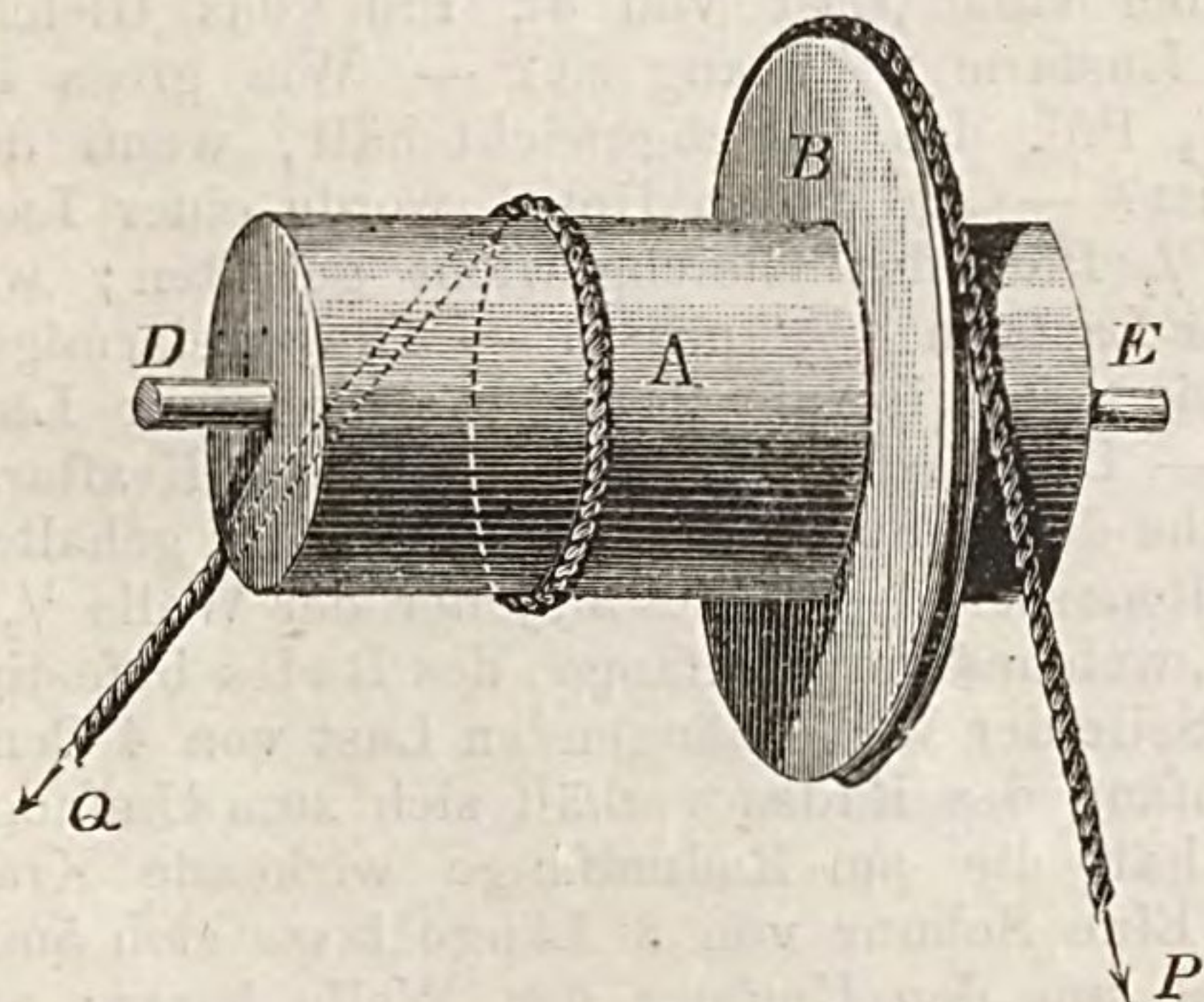
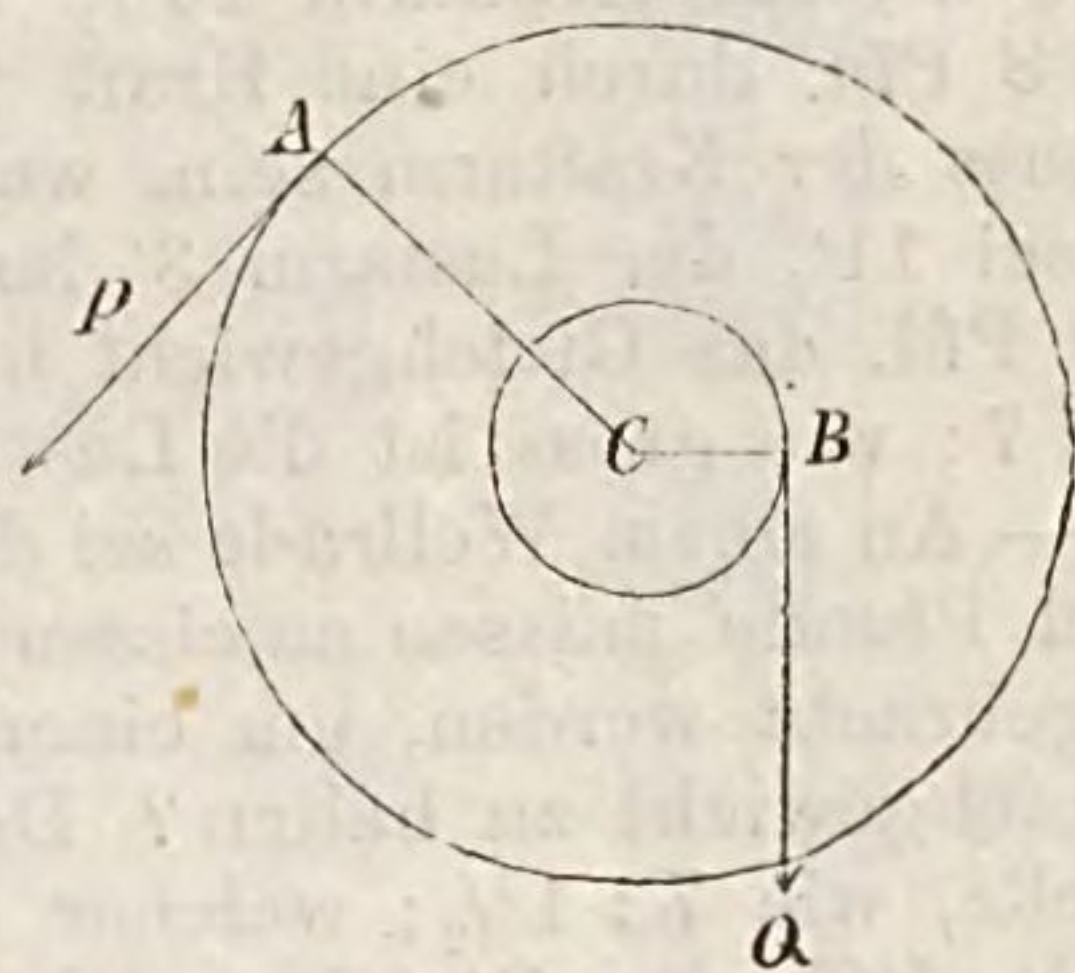


Fig. 107.



ist um die Axe *DE* drehbar. Das Rad ist übrigens nicht selten durch eine Kurbel oder durch mehrere Stäbe ersetzt. Die Kraft *P* wirkt am Umfange des Rades, die Last *Q* am Umfange der Welle; letztere ist gewöhnlich ein Körper, welcher an einem um die Welle geschlungenen Seile befestigt ist. Kraft und Last suchen das Wellrad im entgegengesetzten Sinne zu drehen. Nimmt man an, dass Kraft und Last in demselben Querschnitte (Fig. 107) angebracht seien, und zieht man zu den Angriffspunkten *A* und *B* die auf die Richtungen von Kraft und Last senkrechten Radien *CA* und *CB*, so kann man sich ohne Störung der Wirkung Rad und Welle bis auf die Halbmesser *CA* und *CB* wegdenken. Statt des Wellrades hat man dann den Winkelhebel *ACB*; die Bedingung des Gleichgewichts für diesen muss auch für jenes gelten. Am Hebel *ACB* aber herrscht Gleichgewicht, wenn

$$P \times CA = Q \times CB, \text{ oder wenn } P : Q = CB : CA \dots 1)$$

ist; daher kann man sagen:

Am Wellrade herrscht Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie der Halbmesser der Welle zum Halbmesser des

Rades, oder auch wie der Umfang der Welle zum Umfang des Rades.

Wenn drei Grössen der Gleichung 1) bekannt sind, so lässt sich die vierte immer leicht bestimmen. — Das Wellrad wird in verschiedenen Formen angewendet z. B. als Winde (Fig. 108), als Haspel (Fig. 109), als Wasserrad, Wagenrad.

Fig. 108.

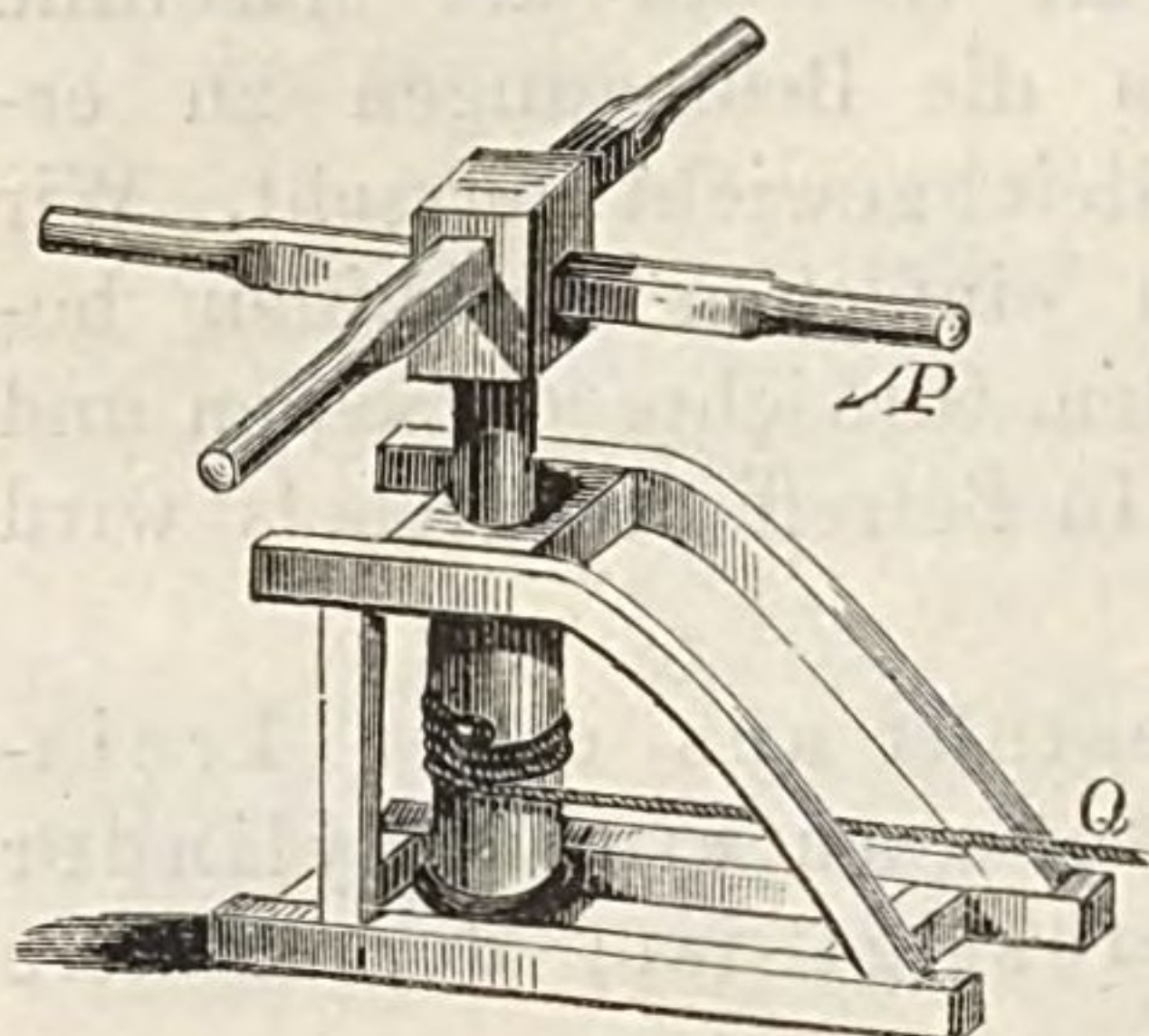
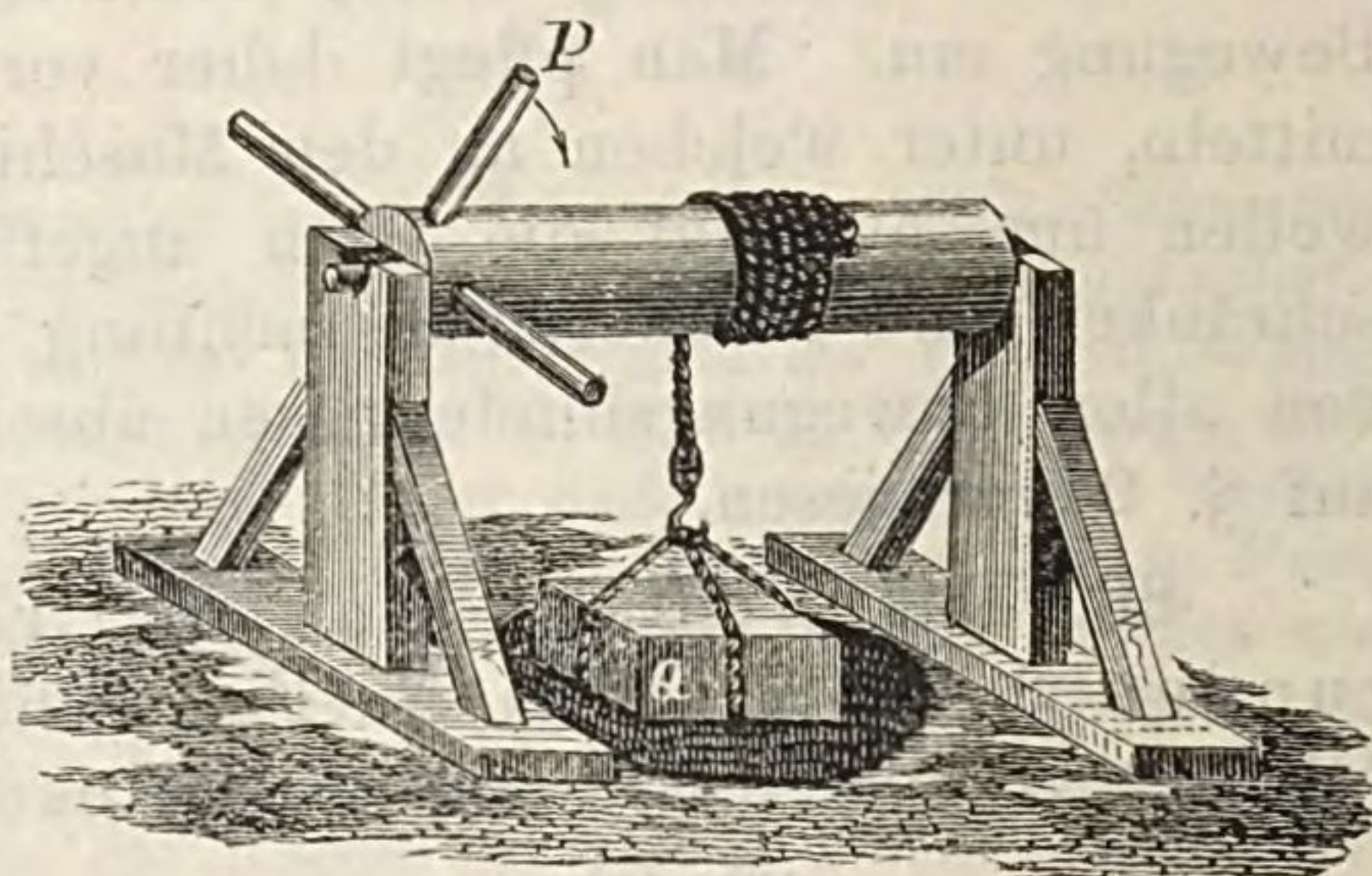


Fig. 109.



Welche Kraft hält an einem Hebel einer Last von 42 Pfd. das Gleichgewicht, wenn der Kraftarm $4\frac{1}{2}'$, der Lastarm $2\frac{1}{3}'$ lang ist? — Wie gross ist die Last, welche einer Kraft von $7\frac{1}{2}$ Pfd. das Gleichgewicht hält, wenn der Lastarm $3'$, der Kraftarm $10\frac{2}{3}'$ lang ist? — An einem Hebel werde einer Last von 34.8 Pfd. durch eine Kraft von $7\frac{1}{2}$ Pfd. das Gleichgewicht gehalten; wie lang muss der Kraftarm sein, wenn der Lastarm $4\frac{1}{5}'$ misst? — Ein zweiarmiger Hebel sei 11', der Lastarm $3'$ lang; wie gross ist die Kraft, welche einer Last von 60 Pfd. das Gleichgewicht hält? — Der Lastarm verhalte sich zum Kraftarm wie $2 : 7$; wie gross ist die Last, welche durch 80 Pfd. im Gleichgewicht gehalten wird? — An einem Wellrade sei der Halbmesser des Rades $3'$, jener der Welle $\frac{1}{2}'$; wie viel Pfunde müssen an einem Seile, welches am Umfange des Rades befestigt ist, angebracht werden, um einer am Seile der Welle hängenden Last von 4 Cent. das Gleichgewicht zu halten? Der Umfang des Rades verhält sich zum Umfange der Welle, wie $7 : 1\frac{1}{2}$; welcher Last hält die am Radumfang wirkende Kraft von $60\frac{1}{2}$ Pfd. das Gleichgewicht? — Eine Schnur von 8' Länge lasse sich 5mal um den Umfang des Rades und 32mal um den Umfang der Welle legen; am Rade wirke eine Kraft von 4 Pfd. Welcher Last wird das Gleichgewicht gehalten?

87. Die Rolle (Fig. 110) ist eine kreisrunde Scheibe B , welche an ihrem Umfange mit einer Rinne versehen und um eine durch den Mittelpunkt gehende Axe C drehbar ist. Die Rinne

Fig. 110.



Fig. 111.

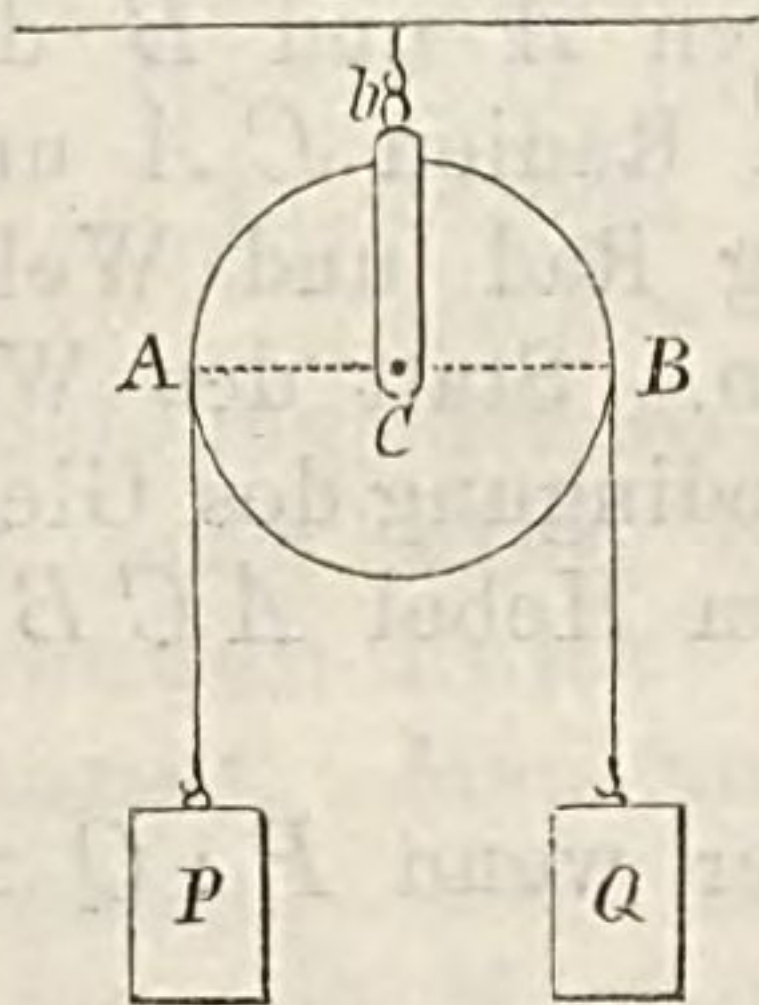
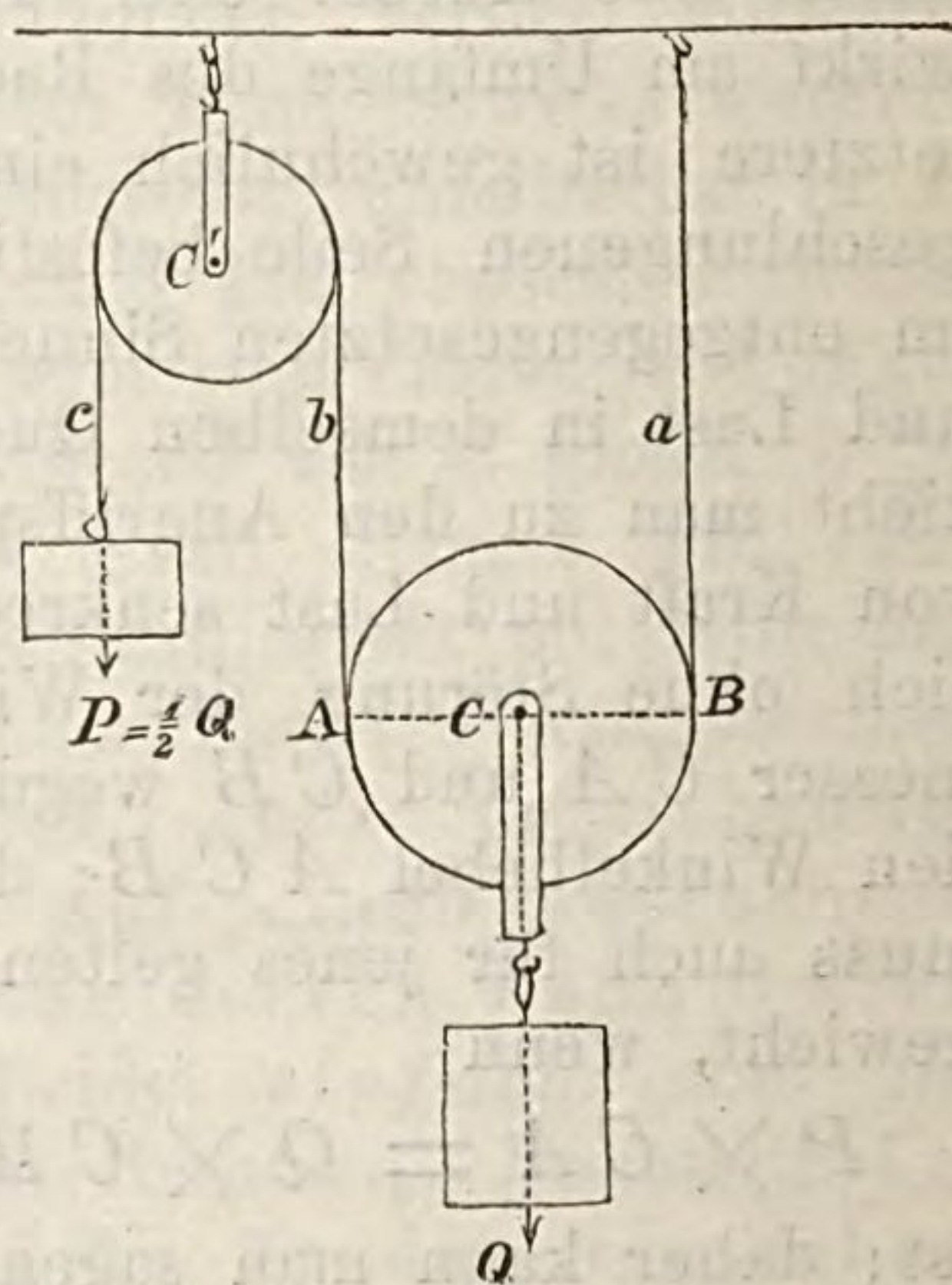


Fig. 112.



ist zur Aufnahme eines Seiles bestimmt, welches einen Theil des Rollenumfanges umfasst; die Axe ist gewöhnlich mit einer Scheere BA

verbunden. *Die Rolle heisst eine feste oder fixe*, wenn sie sich nur um ihre Axe drehen lässt, letztere selbst aber unbeweglich ist (Fig. 111); hingegen wird *die Rolle eine freie oder bewegliche* genannt, wenn sie wie *C* (Fig. 112) nicht nur um ihre Axe drehbar, sondern auch einer fortschreitenden Bewegung fähig ist.

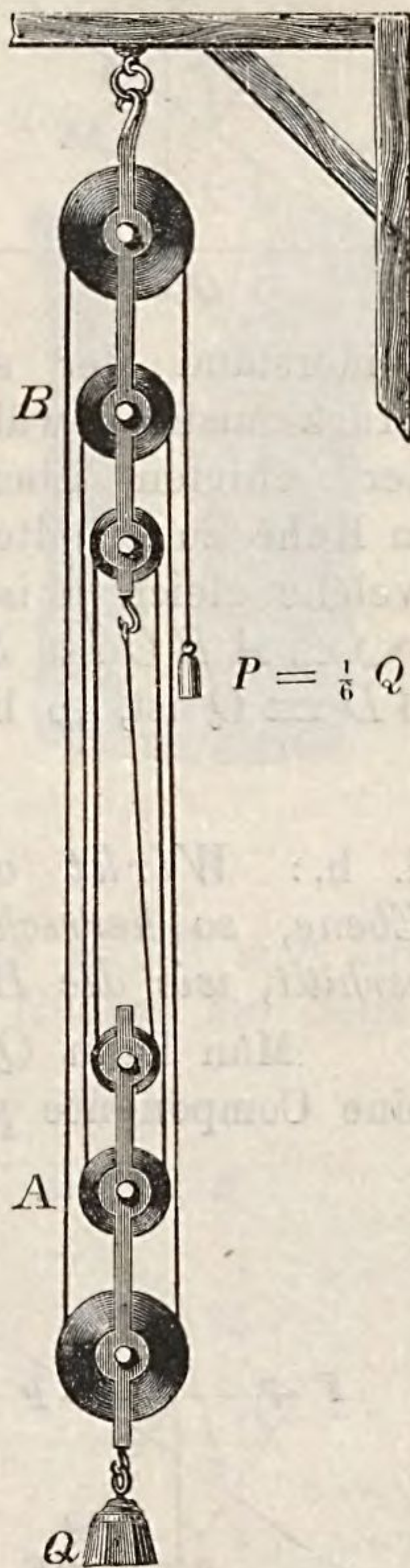
Es ist ersichtlich, dass die *feste Rolle C* (Fig. 111), an welcher in *A* die Kraft *P*, in *B* die Last *Q* angreift, auch durch den gleicharmigen Hebel *AB*, dessen Drehpunkt *C* ist, ersetzt werden kann. Nun herrscht an letzterem nur Gleichgewicht, wenn $P = Q$; bei der *festen Rolle muss folglich im Zustande des Gleichgewichts die Kraft gleich der Last sein*.

Die Resultierende von *P* und *Q* muss durch die feste Axe aufgehoben werden; da *P* und *Q* parallel wirken, so kann wegen $AC = CB$ die Richtung ihrer Resultierenden nur durch *C* gehen, wenn $P = Q$ ist. — Die feste Rolle wird angewendet um die Richtung einer Kraft zweckmässig abzuändern. So übt ein Gewicht nur vertical abwärts einen Zug aus, durch die feste Rolle kann dieser jedoch in einen Zug nach aufwärts umgesetzt werden; daher wird die feste Rolle zum Aufziehen von Lasten verwendet.

Die *freie Rolle C* (Fig. 112) ist mit der fixen Rolle *C'* verbunden, um den Zug der Kraft *P* auf *A* aufwärts wirken zu lassen und so der Last *Q* das Gleichgewicht zu halten. Das Gleichgewicht wird offenbar nicht gestört, wenn man den Punkt *B*, wo das Seil den Umfang der Rolle verlässt, fest macht; dann aber stellt der Durchmesser *AB* einen einarmigen Hebel vor, an welchem der Kraftarm doppelt so gross als der Lastarm ist. An diesem Hebel tritt nur Gleichgewicht ein, wenn $P = \frac{1}{2} Q$ ist. *An der freien Rolle herrscht somit für den Fall, wo die Seilenden parallel mit der Richtung der Last sind, Gleichgewicht, wenn die Kraft der halben Last gleich ist*.

Eine Verbindung mehrerer Rollen in einer gemeinschaftlichen Scheere (Fig. 113, *A, B*) heisst eine *Flasche* oder ein *Kloben*. Ist eine feste Flasche *B* mit einer beweglichen *A* durch ein Seil in der aus Fig. 113 ersichtlichen Weise verbunden, so hat man eine zusammengesetzte Maschine, den sogenannten *Flaschenzug*. Hängt an der freien Flasche die Last *Q*, so vertheilt sich ihr Zug auf alle sechs Seiltheile derart, dass jeder Theil ein Sechstel der Last zu tragen hat. Die Kraft *P*, welche am freien Seilende wirkt, braucht daher nur $\frac{1}{6} Q$ zu betragen um Gleichgewicht zu erhalten. *Überhaupt beträgt am Flaschenzuge im Zustande des Gleichgewichts die Kraft den so vielen Theil der Last als Rollen vorhanden sind*.

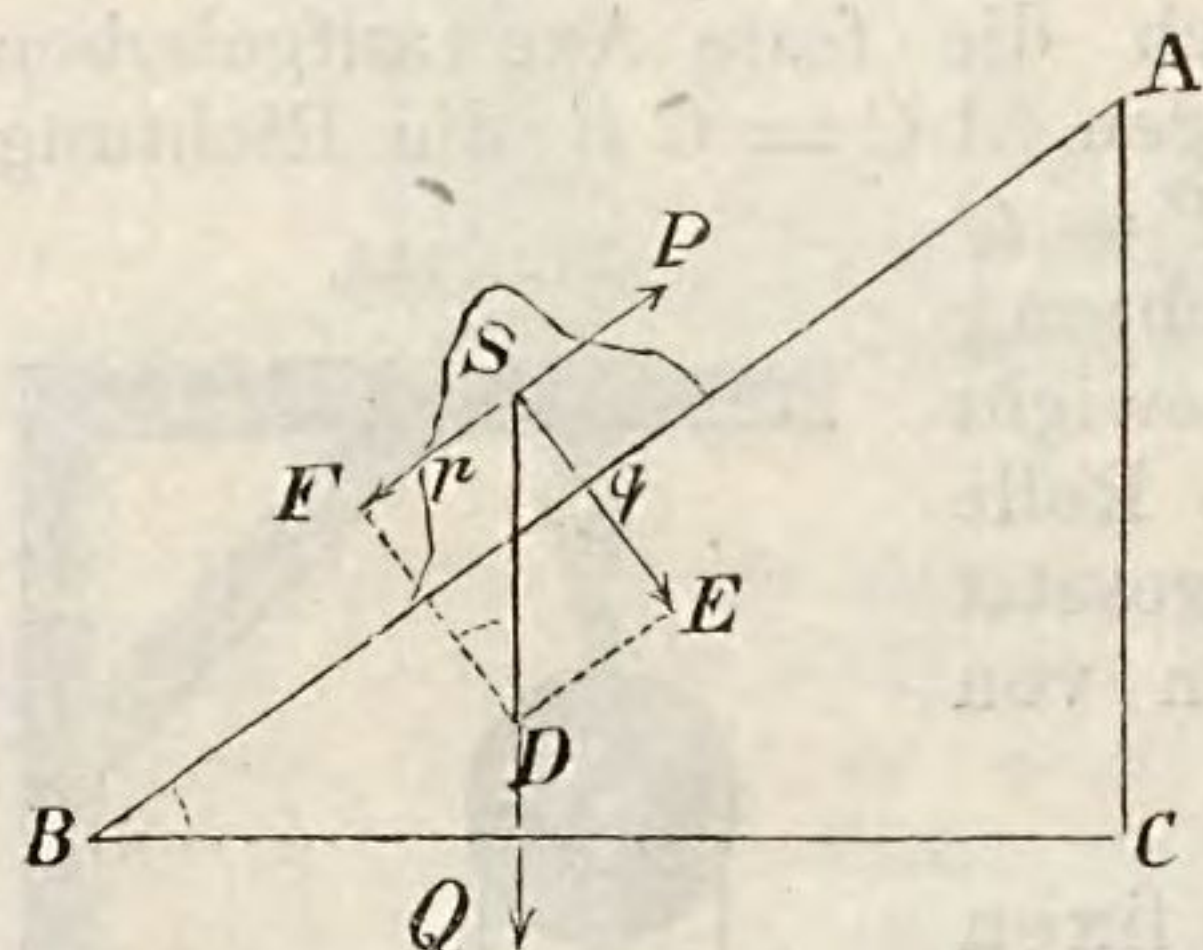
Fig. 113.



Der Flaschenzug wird zum Aufziehen von Lasten verwendet. — Das Gewicht der Rollen der freien Flasche muss natürlich in die Last eingerechnet werden. — Welche Kraft hält an einer freien Rolle einer Last von 150 Pfd. das Gleichgewicht, wenn die Schnüre parallel sind? — Welcher Last wird an der freien Rolle durch 8 Pfd. das Gleichgewicht gehalten? — Wie viel Männer halten einer Last von 2100 Pfd. mittelst eines Flaschenzuges das Gleichgewicht, wenn jede Flasche 3 Rollen enthält und ein Mann einen Zug von 70 Pfd. ausübt? — Wie viel Rollen muss jede Flasche eines Flaschenzuges besitzen, wenn mit ihm einer Last von $4\frac{1}{2}$ Cent. durch 75 Pfd. das Gleichgewicht gehalten werden soll?

88. Die schiefe Ebene ist eine feste gegen den Horizont geneigte Fläche. Man denke sich auf derselben einen Körper liegend und durch dessen Schwerpunkt S (Fig. 114) eine verticale Ebene gelegt; durch letztere wird die schiefe Ebene in der Geraden AB , die horizontale Ebene in BC geschnitten. Fällt man von einem Punkte A der AB die $AC \perp BC$, so erhält man ein rechtwinkliges Dreieck. AB heisst man gewöhnlich die Länge, AC die Höhe und BC die Basis der schiefen Ebene. Das Gewicht Q des Körpers, welches durch SD vorgestellt sein mag, greift in S an und wirkt als Last. Man ersieht, dass die

Fig. 114.



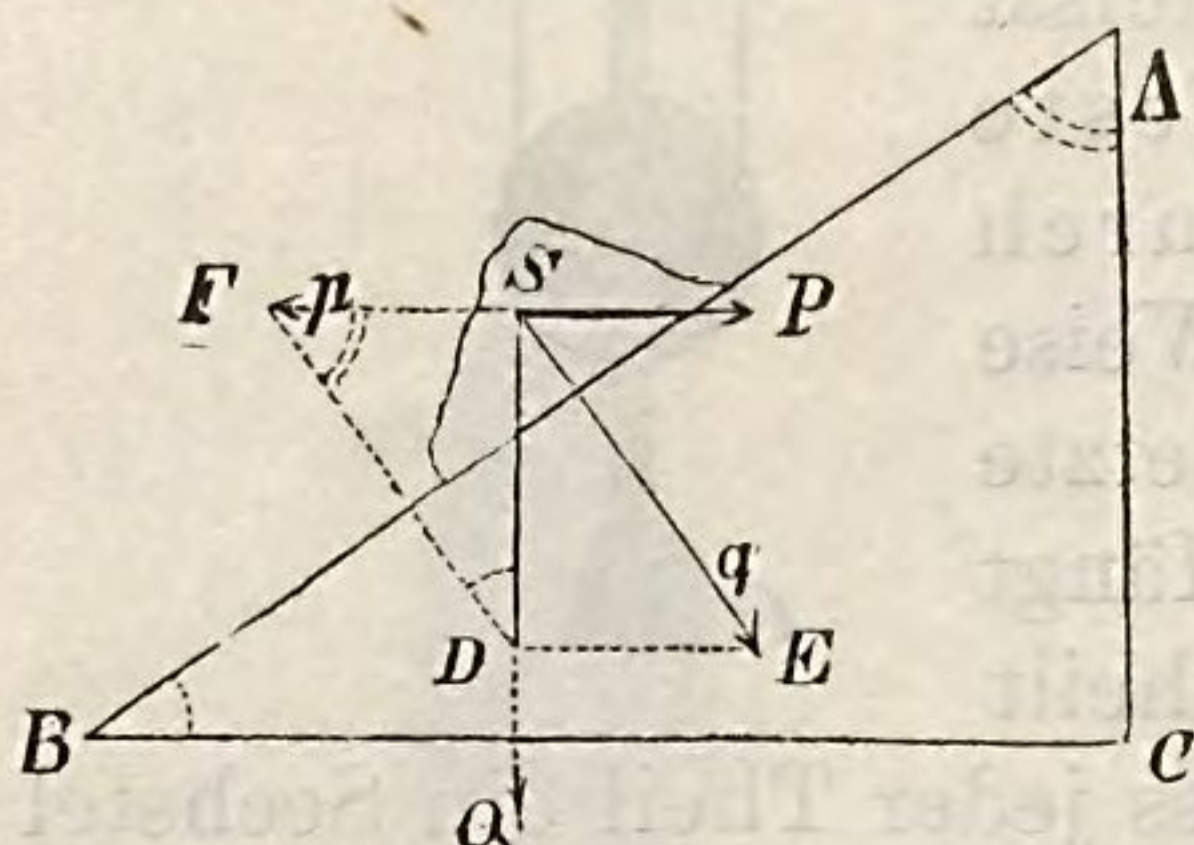
Componente $q = SE$ der Last durch den Widerstand der schiefen Ebene aufgehoben wird und nur einen Druck ausübt, während die Componente $p = SF$ den Körper längs der schiefen Ebene herabzubewegen sucht. Um nun den Körper in Ruhe zu erhalten, braucht man nur in S eine Kraft P anzubringen, welche gleich p ist und nach $SP \parallel AB$ wirkt. Wegen $\triangle SFD \sim \triangle ABC$ ist $SF : SD = AC : AB$. Da aber $SF = p = P$, $SD = Q$ ist, so hat man, wenn $AC = H$, $AB = L$ gesetzt wird,

$$P : Q = H : L \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

d. h.: *Wirkt die Kraft parallel zur Länge der schiefen Ebene, so herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene.*

Man kann Q sich auch in der Weise zerlegt denken, dass die eine Componente $p = SF$ (Fig. 115) parallel zur Basis $BC = B$,

Fig. 115.



die andere $q = SE$ senkrecht auf die Länge wirkt. Wird nun die Kraft $P = p$ nach $SP \parallel BC$ angebracht, so muss Gleichgewicht herrschen, weil q , welches auch die Resultierende von P und Q ist, durch den Widerstand der schiefen Ebene aufgehoben wird. Es ist aber wieder $\triangle SDF \sim \triangle ABC$, mithin $SF : SD = AC : BC$ und daher

$$P : Q = H : B \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

d. h.: *Wirkt die Kraft parallel zur Basis der schiefen Ebene, so herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält wie die Höhe zur Basis.*

Die schiefe Ebene kommt zur Anwendung bei Bauten, um die Baumaterialien empor zu schaffen, beim Beladen der Wagen (Schrottleiter). Jede ansteigende Strasse, eine Treppe, eine schief gestellte Leiter sind schiefe Ebenen. — Dividiert man die Höhe durch die Länge, so erhält man die sogenannte Steigung der schiefen Ebene. Sagt man, die Steigung einer Strasse beträgt $\frac{1}{100}$, so heisst diess auf 100 Fuss Länge kommt eine Höhe von 1 Fuss. Wie gross ist die Kraft P , welche der Last $Q = 330$ Pfd. auf einer schiefen Ebene, deren Höhe $H = 4'$ und deren Länge $L = 10'$ ist, das Gleichgewicht hält, wenn die Kraft parallel zur Länge wirkt? — Eine Strasse habe die Steigung $\frac{1}{18}$; durch welchen zu ihr parallelen Zug wird der Last $Q = 30$ Ctrn. das Gleichgewicht gehalten? — Welcher Last hält die zur Basis der schiefen Ebene parallele Kraft $P = 84$ Pfd. das Gleichgewicht, wenn die Basis $B = 5'$, die Höhe $H = 3'$ ist?

89. Der Keil ist ein gerades dreiseitiges Prisma, dessen man sich zum Spalten eines Körpers, zum Auseinandertreiben zweier Körper und zum Pressen bedient. ABC (Fig. 116) sei der Querschnitt eines Keiles; AB heisst der Rücken, $AC = BC$ werden die Seiten des Keiles genannt. Treibt man denselben durch die Kraft P , welche senkrecht auf den Rücken wirkt, in einen Körper, so übt dieser in E und D senkrecht gegen die Seiten des Keiles einen Druck aus. Soll nun der Keil weder tiefer eindringen, noch aus der Spalte heraustreten, so muss die Resultierende der Drucke bc und bd , d. i. ba der Kraft P gleich und gerade entgegengesetzt sein, folglich muss $ba \perp AB$ sein. Die Seiten der Dreiecke abc und ABC stehen demnach wechselseitig auf einander senkrecht; folglich ist $\triangle abc \sim \triangle ABC$ und daher $bc = bd$. Die Drucke, welche der Körper auf die Seiten des Keiles ausübt, sind also gleich. Ferner ist $ab : bc = AB : AC$, und wenn der Druck $bc = Q$ gesetzt wird,

$$P : Q = AB : AC;$$

d. h. *beim Keile herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last (die Pressung auf eine Seite) verhält wie der Rücken zur Seite.*

Messer, Äxte, Meissel, Nadeln, die Zähne der Säge u. s. w. wirken als Keile; in Ölmühlen wird der Keil zum Pressen verwendet. — Der Rücken eines Keiles sei $6''$, eine Seite $4'$ lang; senkrecht gegen jede Seite wirke ein Druck von 64 Pfd. Wie gross muss die Kraft sein, welche senkrecht gegen den Rücken wirkend jenem Drucke das Gleichgewicht hält?

90. Die Schraube. Wird die Mantelfläche eines geraden Cylinders abgewickelt, so erhält man ein Rechteck AA_1BB_1 (Fig. 117), dessen Höhe der Cylinderhöhe und dessen Breite dem Umfange des Cylinders gleich ist. Dieses Rechteck theile man in mehrere Rechtecke von gleichen Höhen (AC, CD, DB), ziehe die Diagonalen A_1C, C_1D, D_1B und wickele das Rechteck

Fig. 116.

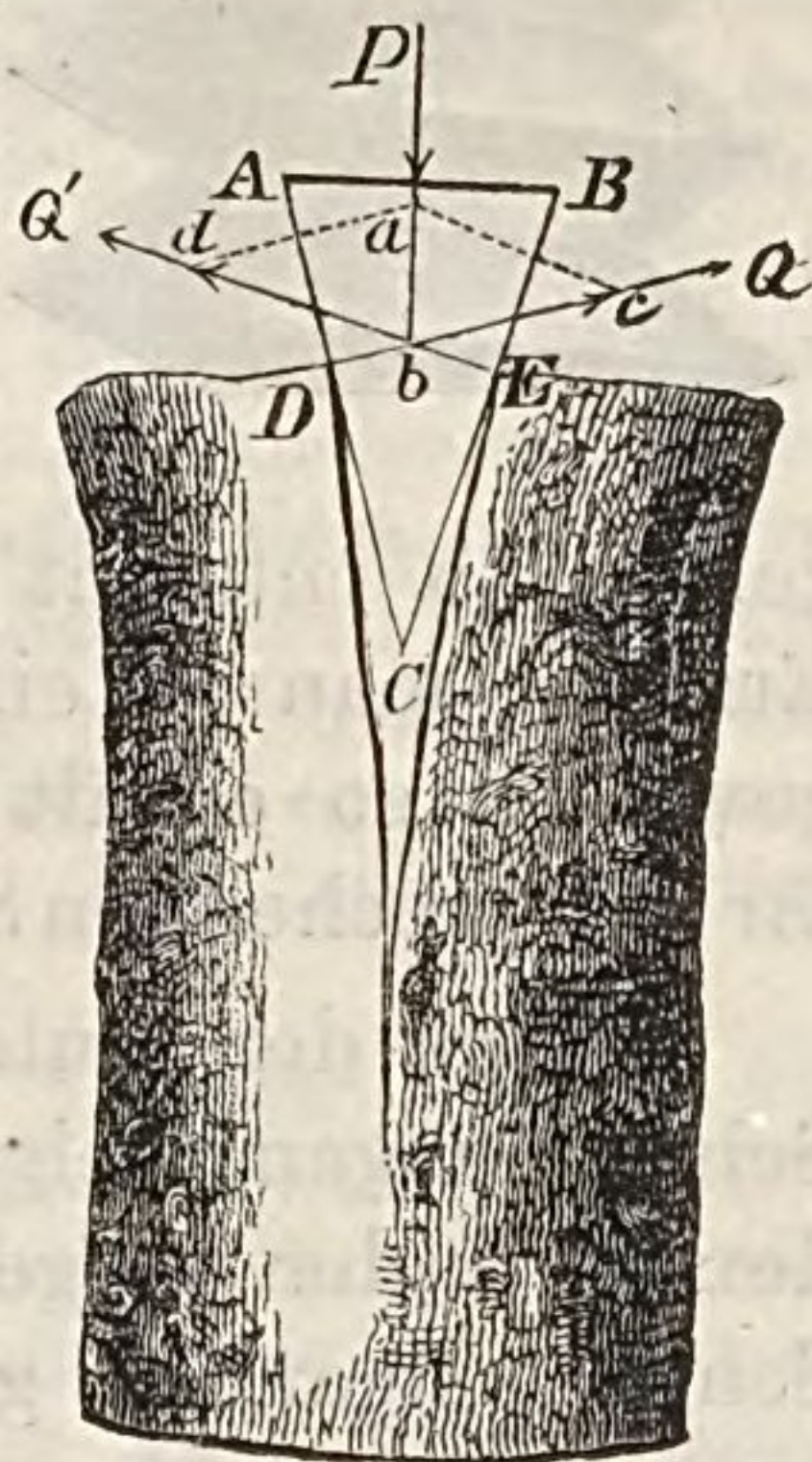
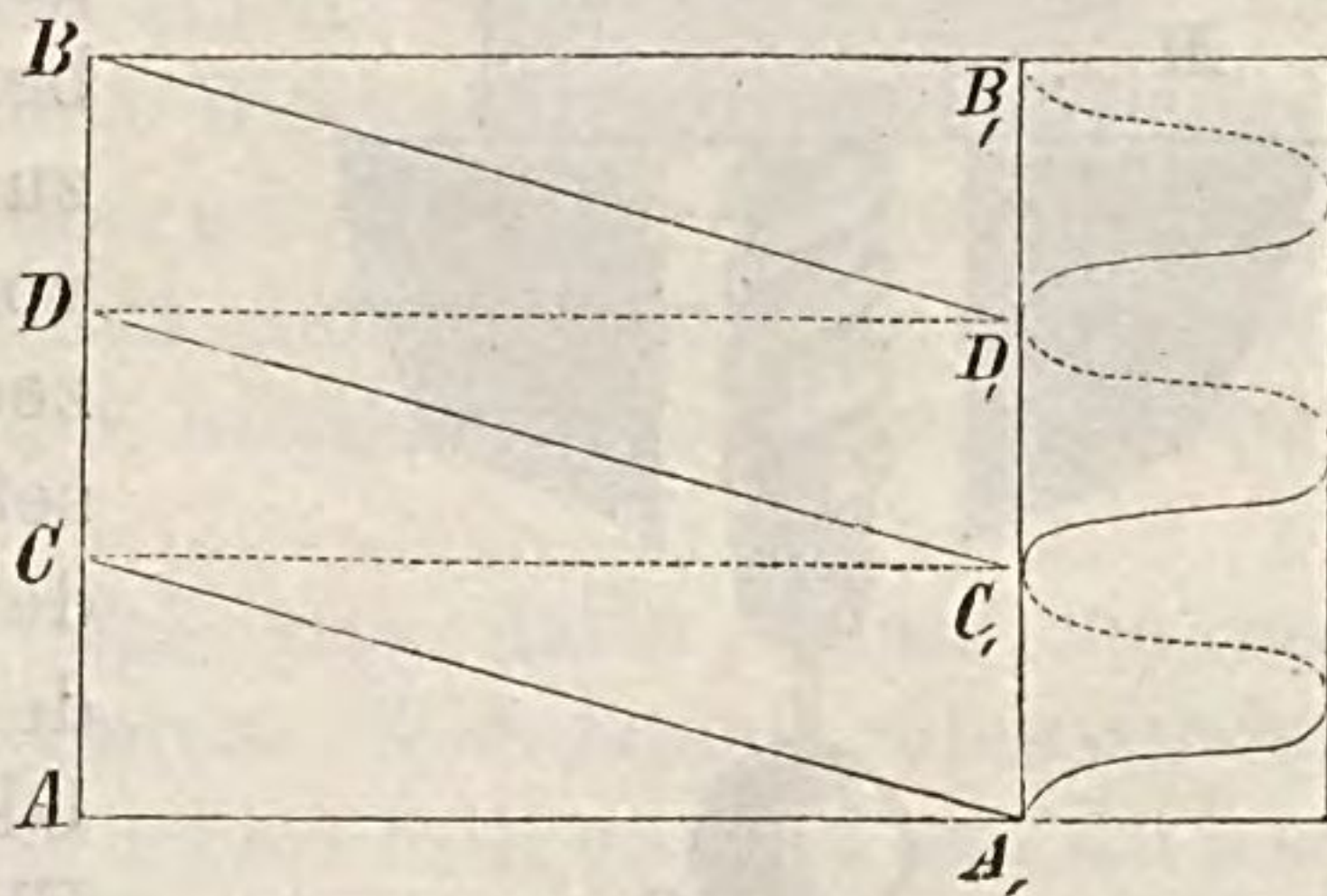


Fig. 117.



$A A_1$, $B B_1$ wieder auf den Cylinder. Es fällt C mit C_1 , D mit D_1 , B mit B_1 zusammen, und die Diagonalen bilden auf der Cylinderfläche eine zusammenhängende krumme Linie, die sogenannte Schraubenlinie, deren jeder Theil gegen die Cylinderbasis gleich stark geneigt ist. Jede Diagonale bildet eine Windung der Schraubenlinie, d. i. einen Schraubengang; der Abstand zweier auf einander folgenden Windungen, wie $A_1 C_1 = A C$, heisst die Höhe eines Schraubenganges. Legt man längs der Schraubenlinie ein dreiseitiges Prisma herum, so erhält man eine scharfgängige Schraubenspindel (Fig. 118) wird ein Prisma, dessen Querschnitt ein Rechteck ist, um den Cylinder

Fig. 118.

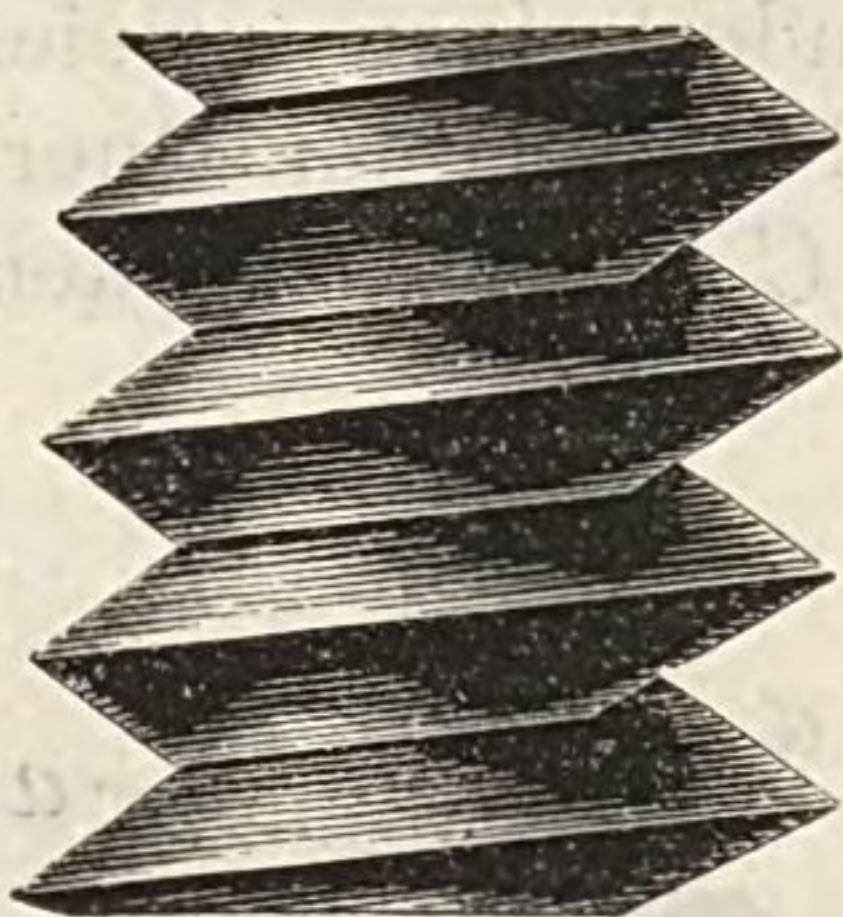


Fig. 120.

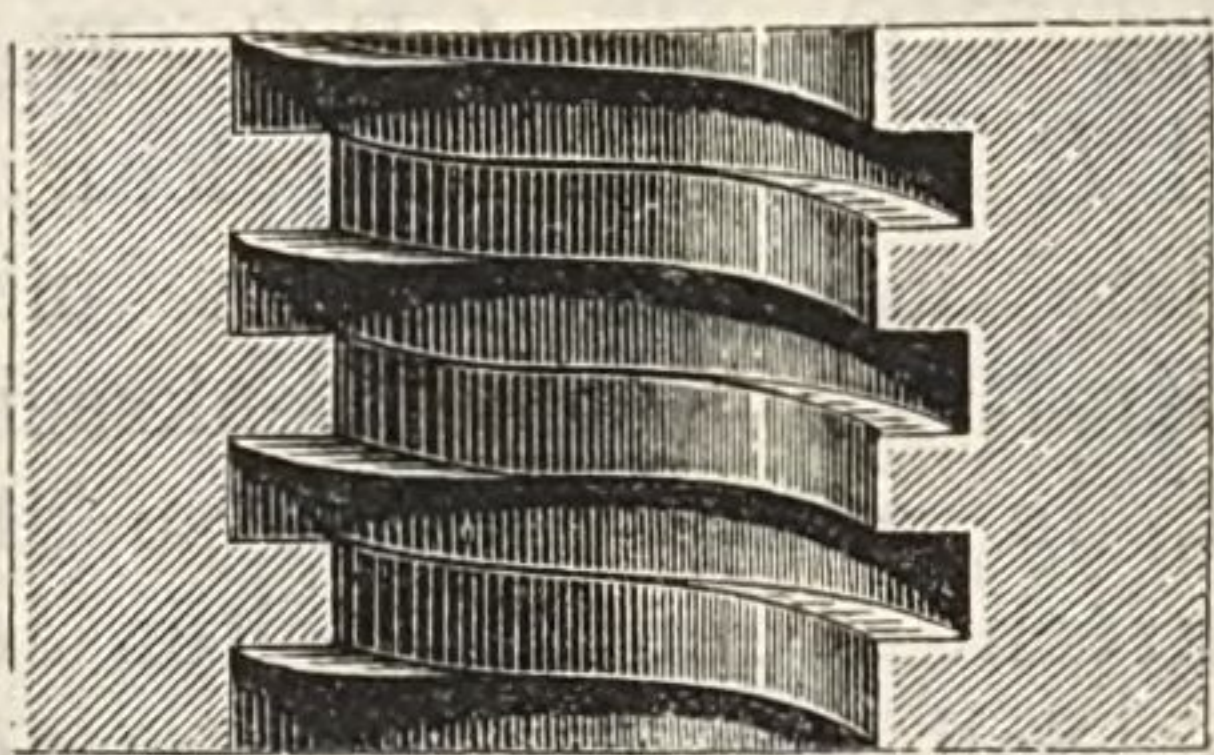


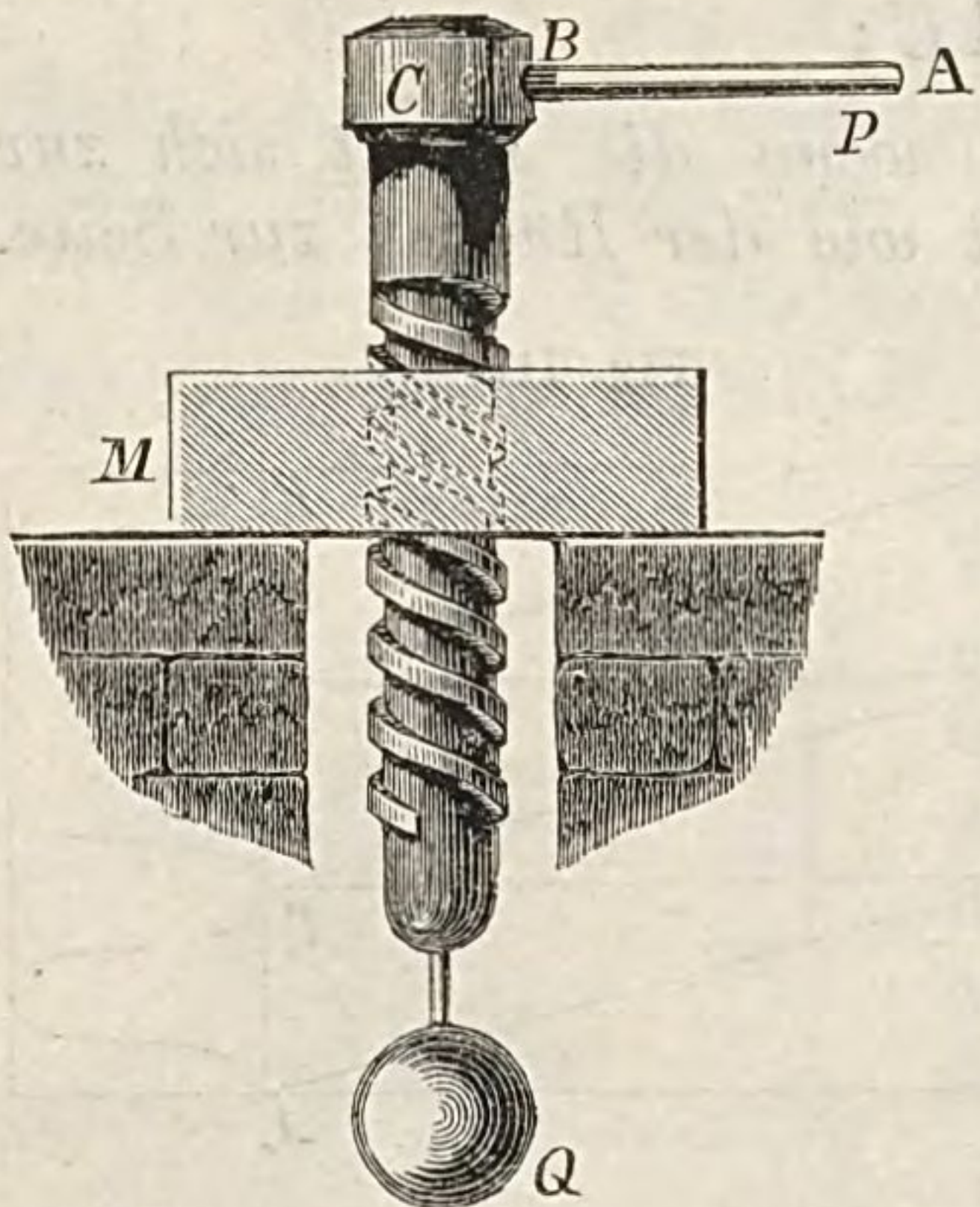
Fig. 119.



gelegt, so entsteht eine flachgängige Schraubenspindel (Fig. 119.) Erzeugt man in einer cylindrischen Höhlung ein vertieftes Schraubengewinde, so erhält man eine Schraubenmutter, welche mit einer ihr entsprechenden Spindel eine vollständige Schraube (Fig. 120) gibt.

Aus der Entstehung der Schraubenlinie erkennt man, dass jeder Schraubengang eigentlich eine schiefe Ebene vorstellt, welche auf den Cylinder aufgewickelt ist; die Höhe derselben ist der Höhe des Schraubenganges gleich. Die Last Q (Fig. 121), welche an der

Fig. 121.



Schraubenspindel hängt, hat das Bestreben letztere aus der Mutter M zu ziehen, was nur möglich ist, wenn die Spindel sich um ihre Axe dreht und dabei ihre Windungen auf jenen der Mutter herabgleiten. Man kann daher der Last Q das Gleichgewicht halten durch eine Kraft, welche bei B am Umfange der Spindel parallel zur Basis wirkt und eine Drehung hervorruft, welche der durch die Last erzeugten Drehung gleich und entgegengesetzt ist. Da die Last in der Richtung der Schraubenaxe, also parallel zur Höhe der Schraubengänge wirkt, so liegt der 2. Gleichgewichtsfall §. 88 der schiefen Ebene vor. Ist h die Höhe eines Schraubenganges, r der Halbmesser BC der

Schraubenspindel; so ist

$$P : Q = h : 2 r \pi,$$

d. h.: an der Schraube herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich

zur Last verhält wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfange der Schraube.

Sehr häufig wirkt die Kraft an einem Hebel (Schraubenschlüssel), welcher mit der Spindel verbunden ist. Sei $R = AC$ die Länge dieses Hebels (Fig. 121), r der Spindelhalbmesser, h die Höhe eines Schraubenganges und P die Kraft welche in B wirkend der Last Q das Gleichgewicht hält. Man hat dann

$$P : Q = h : 2 r \pi.$$

Ist nun $P' : P = r : R,$

so erzeugt die Kraft P' , welche in A angreift, in B den Druck P , so dass auch durch P' dem Q das Gleichgewicht gehalten wird. Multipliciert man die obigen zwei Proportionen so erhält man

$$P' : Q = h : 2 R \pi.$$

Darin ist $2 R \pi$ der Umfang des Kreises, welchen der Angriffspunkt der Kraft P' beschreibt. Wir können daher ganz allgemein sagen: *An einer*

Schraube herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfange des Kreises, welchen der Angriffspunkt der Kraft beschreibt. Die Schraube wird auch mit dem Wellrade verbunden (Fig. 122). Die Gewinde der Schraube greifen in die Zähne des Rades ein, an dessen Welle die Last hängt. Bei einer vollen Umdrehung der Schraube wird ein Zahn vorwärts geschoben, so dass durch fortgesetztes Drehen der Schraube eine ununterbrochene gleichmässige Bewegung des Rades und der Last bewirkt werden kann. Diese zusammengesetzte Maschine heisst daher *Schraube ohne Ende*. — Die Schraube, bei welcher auch die Spindel fest und die Mutter beweglich sein kann, wird benützt: zum Befestigen und Zusammenhalten von Gegenständen, zum Pressen, zur Erzeugung kleiner Bewegungen z. B. bei Fernröhren, Mikroskopen. Eine sehr wichtige Anwendung findet die Schraube beim Schraubendampfer.

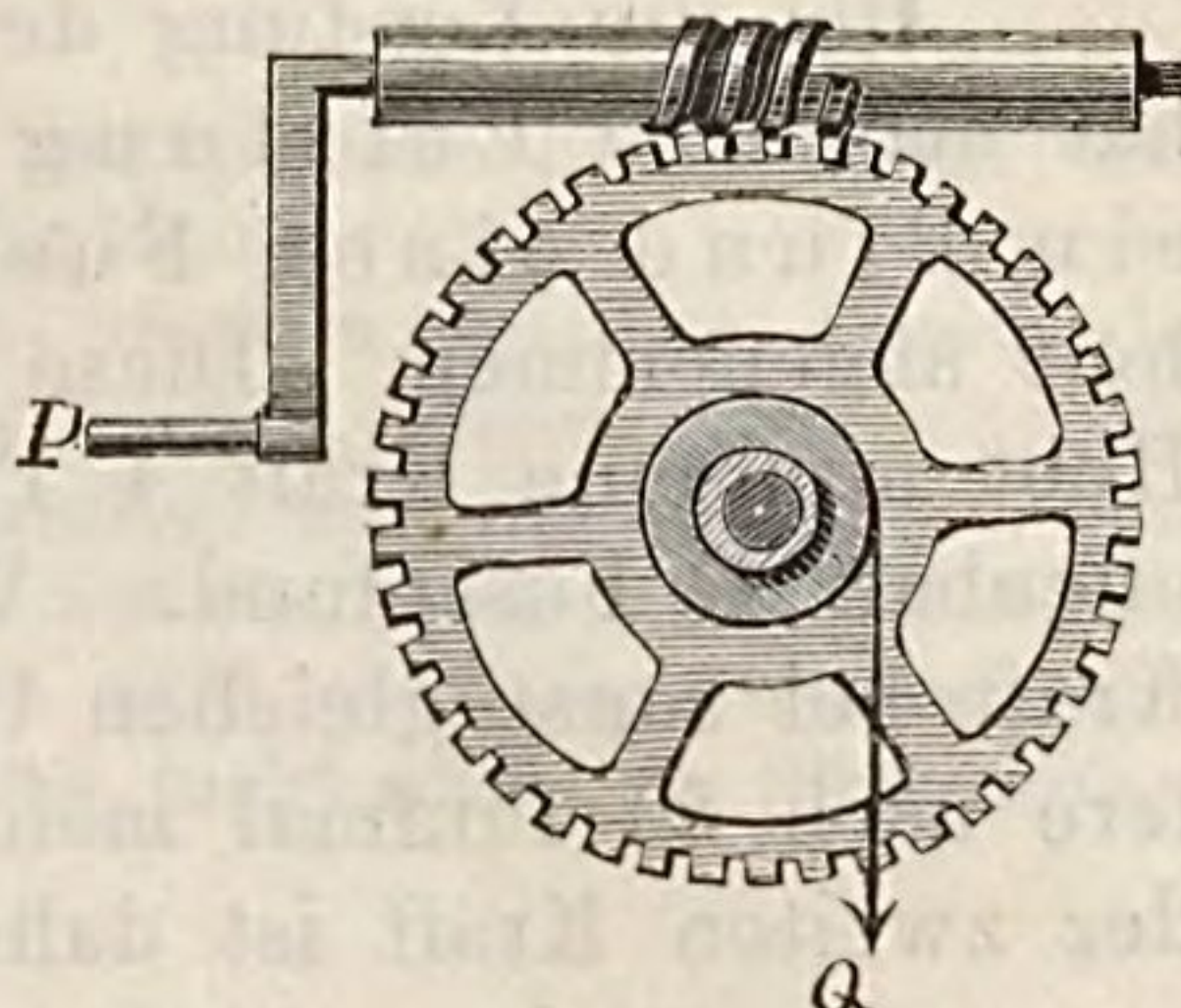
Die Höhe des Schraubenganges einer Schraube sei $\frac{1}{4}$ “, der Radius der Spindel $\frac{1}{2}$ “ lang, wie gross ist die am Spindelumfang wirkende Kraft, welche der Last $Q = 50$ Pfd. das Gleichgewicht hält? — An einer Schraubenspindel hängt eine Last $Q = 1000$ Pfd., die Höhe eines Schraubenganges ist $\frac{1}{3}$ “; es soll dieser Last das Gleichgewicht gehalten werden durch eine Kraft, deren Angriffspunkt 5“ von der Axe der Spindel absteht. Wie gross ist diese Kraft? — Wie hoch müsste ein Schraubengang sein, wenn ein Mann, welcher einen Druck von 60 Pfd. ausübt, an einem Schraubenschlüssel von 2' Länge einer Last von 25 Ctrn. das Gleichgewicht halten sollte?

91. Leistung einer Kraft. Trägt ein Arbeiter eine Last eine Strecke weit, so hat er den Druck derselben den ganzen Weg hindurch auszuhalten. Die Pferde, welche einen belasteten Wagen auf horizontaler Strasse fortziehen, haben dem Weg entlang die Reibungswiderstände an den Wagenrädern zu überwinden. Zerschneidet man mit einer Scheere eine Blechtafel, so wirkt dem Eindringen jener der Zusammenhang des Bleches entgegen; der hieraus erwachsende Widerstand muss also überwunden werden.

Die Leistung einer Kraft äussert sich also darin, dass sie auf einer gewissen Weglänge einen bestimmten Widerstand überwindet.

Die Leistung oder Arbeit einer Kraft ist daher nach der Länge des Weges und nach der Grösse des Widerstandes, welcher auf jenem bewältigt worden ist, zu beurtheilen. Wenn nun ein Arbeiter 200 Pfd. 1 Fuss hoch hebt, während von einem anderen nur 100 Pfd. 1 Fuss hoch gehoben werden, so hat der erstere 2mal mehr gearbeitet als der zweite, das-

Fig. 122.



selbe wäre auch der Fall, wenn der erste Arbeiter 100 Pfd. 2 Fuss, der zweite aber 100 Pfd. nur 1 Fuss hoch gehoben hätte. Hieraus folgt: *die Leistung einer Kraft wächst 1. gerade so wie die bewegte Last oder der überwundene Widerstand, und 2. wie die Länge des durchlaufenen Weges.*

Um die Leistung der Kräfte in Zahlen ausdrücken zu können, hat man die Leistung jener Kraft, welche im Stande ist, ein Pfund einen Fuss vertical empor zu heben, als Einheit angenommen. Diese Arbeitseinheit nennt man ein *Fusspfund*. Hebt nun eine Kraft 4 Pfd. 1 Fuss hoch, so ist ihre Leistung nach 1) offenbar 4 Fusspfund. Werden diese 4 Pfund von einer anderen Kraft bei sonst gleichen Umständen 5 Fuss hoch gehoben, so hat letztere nach 2) fünfmal mehr geleistet als die vorige Kraft; die Leistung der zweiten Kraft ist daher $4 \times 5 = 20$ Fusspfund.

Die Leistung einer Kraft wird also nach Fusspfunden gemessen, wenn man die in Pfunden ausgedrückte Last (oder den Widerstand) mit der in Fussen ausgedrückten Weglänge multipliciert. Wenn ein Körper durch eine Kraft, die unmittelbar (ohne Maschine) auf ihn einwirkt, vor dem Fallen geschützt werden soll, so muss die Kraft der Last d. i. dem Zuge des Körpers gleich und gerade entgegengesetzt wirken; bei der geringsten Vermehrung der Kraft wird die Last im Sinne der Kraft bewegt. Man sagt deshalb auch: *die Leistung einer Kraft wird durch das Product der Kraft in den von ihrem Angriffspunkt zurückgelegten Weg* (jene in Pfunden, diesen nach Fussen gemessen) *ausgedrückt.*

Die Leistungen stärkerer Kräfte werden nach Pferdekraften gemessen; die Pferdekraft wird bei uns zu 430 Fusspfunden angenommen. Würden durch eine Dampfmaschine in einer Secunde 172 Pfd. 20 Fuss hoch gehoben, so wäre ihre Leistung 3440 Fusspfd. oder $3440 : 430 = 8$ Pferdekraften. — Die Zeit wird dabei nur in so weit berücksichtigt, als die Kraft stärker sein muss, wenn dasselbe in kürzerer Zeit geleistet werden soll.

92. Leistung einer Kraft mittelst Maschinen. An einem Wellrade, dessen Radius sechsmal so gross ist als jener der Welle, hält eine Kraft von 7 Pfunden einer Last von 42 Pfunden das Gleichgewicht. Wird die Kraft etwas vergrössert, so bewegt sich die Last, und zwar beschreibt ihr Angriffspunkt in derselben Zeit den Umfang der Welle, in welcher der Angriffspunkt der Kraft den Umfang des Rades beschreibt. Der Angriffspunkt der Kraft legt demnach in derselben Zeit einen 6mal grösseren Weg zurück als jener der Last. Dasselbe würde sich ergeben, wenn die Kraft von 7 Pfunden auf die Last von 42 Pfunden mit einer anderen Maschine wirken möchte. Es besteht demgemäss das wichtige Gesetz: *Was mit einer Maschine an Kraft erspart wird, geht am Wege* (oder was dasselbe ist, an Zeit) *verloren.* Legt der Angriffspunkt der Kraft in unserem Beispiele den Weg von 1' zurück, so beträgt ihre Leistung $7 \times 1 = 7$ Fusspfund. In derselben Zeit aber legt die Last den Weg $\frac{1}{6}'$ zurück, wozu ohne Wellrad eine Arbeit von $42 \times \frac{1}{6} = 7$ Fusspfund erforderlich ist. *Die Leistung der Kraft* ist also ohne Wellrad gerade so gross, wie mit dem Wellrade, und *wird überhaupt durch eine Maschine nicht*

erhöht. Ein Theil der Kraft geht vielmehr für die Bewegung der Last verloren, indem derselbe zur Bewegung der Maschine verbraucht wird. Nichts destoweniger werden die Maschinen mit so vielem Erfolg angewendet, weil wir durch sie in den Stand gesetzt werden, Arbeiten zu verrichten, welche wir ohne Maschine nicht auszuführen vermögen.

Aus dem Umstande, dass ein Theil der bewegenden Kraft durch die Bewegungshindernisse verloren geht, folgt die Unmöglichkeit des perpetuum mobile d. i. einer Maschine, welche durch einen äussern Anstoss einmal in Bewegung gebracht sich fort und fort bewegt. Es müsste, wenn diess möglich sein sollte, der erste Anstoss vom ersten Maschinentheil auf den zweiten, von diesem auf den dritten u. s. w., vom letzten wieder auf den ersten ungeschwächt übertragen werden. Durch die Bewegungshindernisse wird aber der Anstoss mehr und mehr vermindert, so dass er endlich die Reibung nicht mehr zu überwinden vermag und die Maschine daher in Ruhe kommt.

B. Von der Bewegung.

93. Gleichförmige Bewegung. Wenn auf einen frei beweglichen Körper eine momentane Kraft (z. B. ein Stoss) einwirkt, so muss derselbe vermöge seines Beharrungsvermögens in der Richtung der Kraft mit der ihm ertheilten Geschwindigkeit sich ununterbrochen weiter bewegen, vorausgesetzt, dass kein Hindernis entgegenwirkt. *Eine momentane Kraft erzeugt daher eine geradlinige gleichförmige Bewegung.*

Würde der Körper z. B. eine Geschwindigkeit von 3 Fuss erhalten, so müsste er in der ersten und jeder folgenden Secunde einen Weg von 3' mithin

in 2 Secunden einen Weg von $3 + 3 = 3 \times 2$ Fuss

„ 3 „ „ „ „ $3 \times 2 + 3 = 3 \times 3$ „

„ 4 „ „ „ „ $3 \times 3 + 3 = 3 \times 4$ „

u. s. f. zurücklegen. Bezeichnen wir also die Geschwindigkeit eines sich gleichförmig bewegenden Körpers kurz mit C , und die nach Secunden gemessene Zeit, in welcher der Weg S zurückgelegt wird, mit T so ist $S = C \times T$, d. h. in Worten:

1. *Bei der gleichförmigen Bewegung ist der Weg gleich dem Producte aus der Geschwindigkeit in die Zeit, während welcher derselbe zurückgelegt wird.*

Aus $S = C \times T$ folgt: $C = \frac{S}{T}$ und $T = \frac{S}{C}$ d. h.

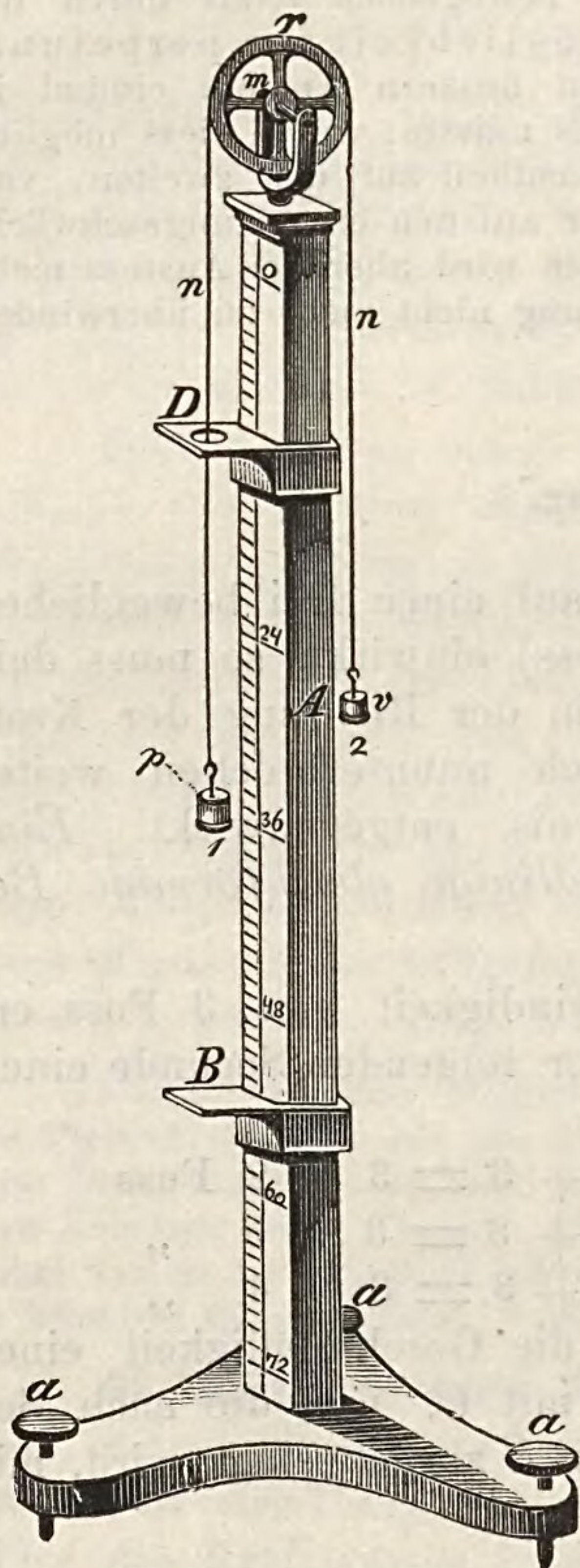
2. *Die Geschwindigkeit eines Körpers, welcher sich gleichförmig bewegt, ist gleich dem zurückgelegten Wege dividiert durch die Zeit.*

3. *Die Zeit, in welcher ein Körper einen bestimmten Weg in gleichförmiger Bewegung zurücklegt, ist gleich dem Weg dividiert durch die Geschwindigkeit.*

Aus dem Gesetze 1) folgt, dass die Wege bei der gleichförmigen Bewegung gerade so wachsen wie die Geschwindigkeiten. Wie gross ist der Weg S : a) wenn die Geschwindigkeit $C = 10'$, die Zeit $T = 8' 24''$ ist, b) wenn $C = 84 \cdot 5'$, $T = 1$ Stunde 24 Minuten ist? — Mit welcher Geschwindigkeit legt ein Körper

1 Meile in der Zeit von 30' zurück? — In welcher Zeit legt ein Körper einen Weg von 10 Meilen mit der Geschwindigkeit von 38·5' zurück? — Von zwei Körpern hat der eine die Geschwindigkeit 30', der andere die Geschwindigkeit 138'; wie verhalten sich die Wege, welche die Körper in gleichen Zeiten zurücklegen? — Wenn die mittlere Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn 96.576' beträgt; wie viel Meilen durchläuft die Erde a) in 1 St., b) in 1 Tage und c) in 1 Jahre zu 365·26 Tagen?

Fig. 123.



94. Gleichförmig beschleunigte Bewegung. Auf der in Zolle getheilten hölzernen Säule *A* (Fig. 123), welche mittelst der Schrauben *a* vertical gestellt werden kann, sei oben eine um die horizontale Axe *m* sehr leicht drehbare Rolle *r* angebracht. Über letztere ist die Schnur *n* gelegt, an deren Enden die Schälchen 1, 2 befestigt sind. Haben die Schälchen gleiches Gewicht, so herrscht an jeder Rolle Gleichgewicht, ebenso wenn auf jedes Schälchen das gleiche Gewicht *v* gelegt wird. Gleicht man durch Auflegen eines kleinen Gewichtes auf das Schälchen 1 die an der Rollenaxe stattfindende Reibung aus und legt man auf 1 noch ein bestimmtes Übergewicht *p*, so bewegt sich 1 mit wachsender Geschwindigkeit nach abwärts, während die Rolle sich dreht und das Schälchen 2 empor steigt. Das Übergewicht *p* stellt offenbar eine constante continuierliche Kraft vor. Dieselbe hat aber die Rolle zu drehen, die Schälchen sammt den aufliegenden Gewichten zu bewegen; daher erfolgt die Bewegung langsamer, als wenn *p* für sich allein fallen würde. Man kann daher die Bewegung leicht beobachten. Um die Zeit messen zu können, ist noch ein Pendel angebracht, welches Secunden schlägt; die

Zeit zählt man von dem Augenblicke an, wo das Schälchen 1 im Theilstriche 0 seine Bewegung beginnt. Die verschiebbare Platte *B* dient dazu, um das Schälchen 1 an beliebiger Stelle auffangen zu können; die Platte *D* lässt sich ebenfalls verschieben und dient dazu, das Übergewicht *p* irgendwo vom Schälchen 1 abzuheben. Ist letzteres geschehen so bewegen sich die Schälchen 1 und 2 sammt den aufliegenden Gewichten bloss in Folge des Beharrungsvermögens weiter. Dieser Apparat heisst nach seinem Erfinder die Atwood'sche Fallmaschine.

Versuch *a*). Wählt man nun *p* so, dass in der 1. Secunde der Weg 1 Zoll zurückgelegt wird, und stellt *D* auf den Theilstrich 1 so wird *p* am Ende der 1. Secunde abgehoben und bei entsprechender Stellung der Platte *B* findet man, dass

in der Zeit von 1, 2, 3, 4 Sekunden,
 ein Weg von 1, 3, 5, 7 Zollen,
 also in den auf die erste
 folgenden Secunden Wege von 2, 4, 6 Zollen
 zurückgelegt werden. Nach der 1. Secunde, also nach Abnahme des
 Übergewichtes oder nach Aufhebung der bewegendes Kraft wird dem-
 nach in jeder Secunde derselbe Weg von 2" Zoll zurückgelegt. Da-
 durch wird bestätigt, dass jeder Körper die begonnene Bewegung
 in Folge des Beharrungsvermögens gleichförmig fortsetzt,
 wenn die bewegende Kraft zu wirken aufhört.

Bringt man D nach einander im Theilstriche 4, 9, 16 an, so
 wird das Übergewicht p der Reihe nach am Ende der 2., 3., 4. Sec.
 abgehoben. Es ergibt sich dann auf ähnliche Weise wie vorhin, dass
 das Plättchen 1

am Ende der 2. Sec. die Geschwindigkeit $4'' = 2'' \times 2$,
 „ „ „ 3. „ „ „ $6'' = 2'' \times 3$,
 „ „ „ 4. „ „ „ $8'' = 2'' \times 4$
 u. s. w. hat.

Wirkt also eine constante Kraft auf einen Körper durch
 verschiedene Zeiten hindurch ein, so wachsen die Geschwin-
 digkeiten gerade so wie die Zeit. Man nennt den Zuwachs
 an Geschwindigkeit während einer Secunde die *Beschleunigung*
 (*Acceleration*). Die Geschwindigkeit, welche der Körper am
 Ende einer gewissen Zeit besitzt, heisst die dieser Zeit ent-
 sprechende *Endgeschwindigkeit*. Die Bewegung aber, bei wel-
 cher die Beschleunigung unveränderlich ist, wird eine
gleichförmig beschleunigte Bewegung genannt.

Aus den Versuchen ergeben sich daher die Gesetze:

1. *Eine constante Kraft erzeugt eine gleichförmig beschleunigte
 Bewegung;*

2. *Bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung ist die einer
 bestimmten Zeit (T in Secunden gemessen und vom Beginne der Be-
 wegung an gezählt) entsprechende Endgeschwindigkeit (V) gleich der
 Beschleunigung (G) multipliciert mit der Zeit oder in Zeichen:*

$$I). \quad V = G \times T.$$

Die Beschleunigung ist die der 1. Sec. entsprechende Endgeschwindigkeit;
 sie wird gewöhnlich in Fussen gemessen. Bei unseren Versuchen war $G = 2'$.
 — Weil die Kraft p in der 2, 3. u. s. w. Sec. denselben Geschwindigkeitszuwachs
 ertheilt hat, wie in der 1. Sec., so folgt, dass eine Kraft auf einen Körper ganz
 gleich einwirkt, mag der Körper in Ruhe oder bereits in Bewegung sein.

Versuch b). Geben wir die Platte D hinweg und lassen das
 Übergewicht p ununterbrochen fortwirken, so bleibt auch jetzt die
 Beschleunigung 2". Es wird nun aber

in der Zeit vom 1 Sec. der Weg $1'' = 1'' \times 1^2$
 „ „ „ „ 2 „ „ „ $4'' = 1'' \times 2^2$
 „ „ „ „ 3 „ „ „ $9'' = 1'' \times 3^2$
 „ „ „ „ 4 „ „ „ $16'' = 1'' \times 4^2$
 u. s. w. zurückgelegt. Hieraus folgt:

3. Bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung ist der Weg, welcher in einer bestimmten Zeit zurückgelegt wird, gleich dem in der 1. Secunde durchlaufenen Wege multipliciert mit dem Quadrate der Zeit.

Der in der 1. Secunde zurückgelegte Weg ist aber (bei unserem Versuche $1 = \frac{2}{2}$) die halbe Beschleunigung, daher kann man das vorige Gesetz auch ausdrücken:

$$II). \quad S = \frac{G}{2} \times T^2,$$

worin S den Weg bedeutet, G und T die früheren Bedeutungen haben. In dieser Gleichung ist das Gesetz 3) in folgender Form ausgesprochen:

4. Bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung wachsen die Wege wie die Quadrate der Zeit (oder auch wie die Quadrate der natürlichen Zahlen) und gerade so wie die Beschleunigung.

Aus dem Versuche b) folgt ferner:

in der 1. Sec. wird der Weg	1"
" " 2. " " " "	4" — 1" = 3"
" " 3. " " " "	9" — 4" = 5"
" " 4. " " " "	16" — 9" = 7"

u. s. w. zurückgelegt; d. h.

5. Die Wege, welche bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung in den einzelnen Secunden durchlaufen werden, wachsen wie die ungeraden Zahlen.

Welche Geschwindigkeit V hat ein Körper nach 1 Minute bei der Beschleunigung $G = 31'$? — Welchen Weg S legt der Körper in dieser Zeit zurück? — Wie gross sind V und S , wenn $T = 5$ Sec. und der in der ersten Secunde zurückgelegte Weg $12.5'$ beträgt? — In welcher Zeit erlangt ein Körper bei der Acceleration $G = 12.5'$ die Endgeschwindigkeit $V = 187.5'$ und welchen Weg legt der Körper dabei zurück? Es sei $S = 735'$ und $T = 14$ Sec.; wie gross ist G ?

95. Zusammensetzung gleichartiger Bewegungen. Wirken auf einen freibeweglichen Körper zwei Kräfte ein, so ist die resultierende Geschwindigkeit der Summe oder Differenz der ihm von den einzelnen Kräften ertheilten Geschwindigkeiten gleich, je nachdem die Kräfte in derselben oder in gerade entgegengesetzter Richtung wirken. Dasselbe gilt auch von den Wegen.

Zwei Kräfte P , Q , welche einen Winkel einschliessen, lassen sich dann durch eine einzige Kraft ersetzen, wenn sie beide gleichartig, d. h. wenn entweder beide momentane oder beide constante Kräfte sind. Das Bewegliche muss sich in einem solchen Falle in der Richtung der Mittelkraft oder in der Diagonale des Kräfteparallelogramms bewegen. Um die resultierende Geschwindigkeit zu erhalten, denken wir uns auf einem in der Richtung Ay (Fig. 124) schwimmenden Brette eine Kugel A längs der Geraden Ax gleichförmig weiter gezogen. Die Geschwindigkeit des Brettes sei $3'$, jene der

2. Die dabei resultierende Geschwindigkeit oder Beschleunigung wird durch die Diagonale des Geschwindigkeits- beziehungsweise des Beschleunigungsparallelogramms dargestellt;

3. Der resultierende Weg ist gleich der Diagonale des Parallelogramms der gleichzeitigen Bewegungen.

So wie man nach diesen Sätzen Geschwindigkeiten, Accelerationen und gleichzeitige Bewegungen zusammensetzen kann, lassen sich auch gegebene Geschwindigkeiten u. s. w. wieder zerlegen.

96. Messung bewegender Kräfte. Von zwei Kräften ist offenbar jene die stärkere, welche die grössere Wirkung erzeugt. Ertheilt demnach eine momentane Kraft einem Körper eine 2, 3, 4, . . . mal grössere Geschwindigkeit als eine andere Kraft, so muss die erstere Kraft auch 2, 3, 4, . . . mal stärker als die letztere sein; d. h.

1. Zwei momentane Kräfte verhalten sich zu einander so wie die Geschwindigkeiten, welche sie ein und derselben Masse ertheilen.

Die 2, 3, 4, . . . mal grössere Masse setzt der bewegenden Kraft auch einen 2, 3, 4, . . . mal grösseren Widerstand entgegen (vgl. §. 77); daher wird die Kraft auch 2, 3, 4, . . . mal stärker sein müssen, wenn sie der 2, 3, 4, . . . fachen Masse die gleiche Geschwindigkeit ertheilen soll; oder:

2. Zwei momentane Kräfte verhalten sich zu einander wie die Massen, welchen sie die gleiche Geschwindigkeit ertheilen.

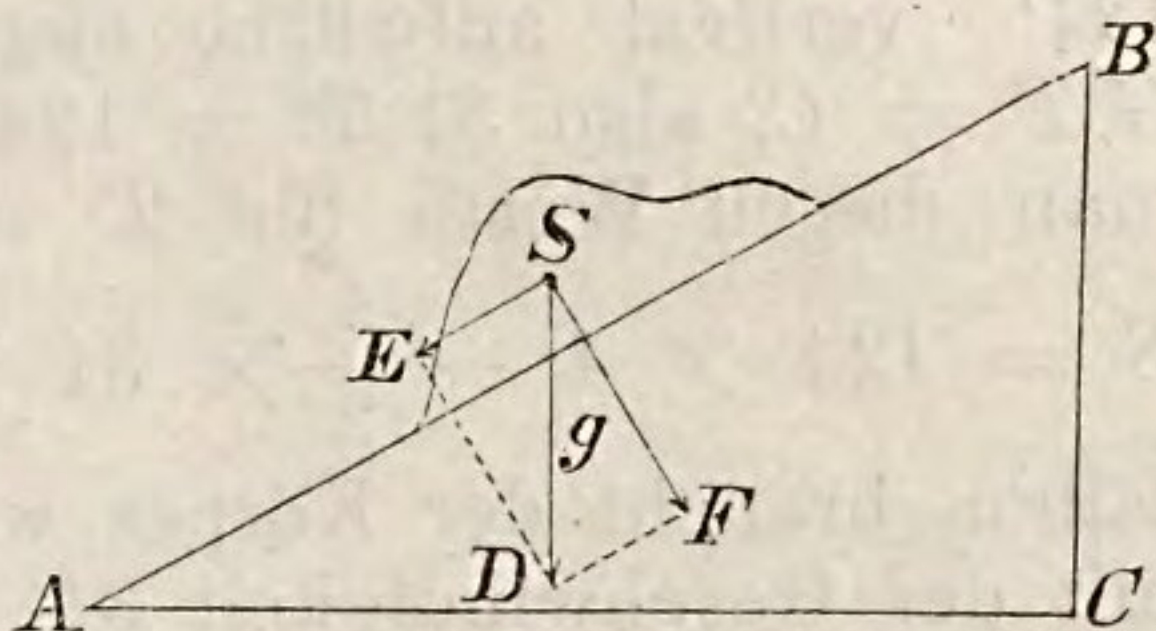
Nimmt man nun diejenige momentane Kraft als Krafteinheit an, welche der Masse 1 (z. B. einem 1 Pfd. schweren Körper) die Geschwindigkeit 1 Fuss ertheilt, so wird die Kraft p , welche der Masse 1 die Geschwindigkeit 4' ertheilt, gleich 4 Krafteinheiten sein, und die Kraft P , welche die Masse 3 mit 4' Geschwindigkeit bewegt, wird 3mal grösser als p d. i. $3 \times 4 = 12$ Krafteinheiten sein. Wenn also die Kraft P der Masse M die Geschwindigkeit C ertheilt, so ist $P = M \times C$ oder in Worten: Eine momentane Kraft ist gleich dem Product aus der Masse in die Geschwindigkeit. Man nennt dieses Product die Bewegungsgrösse der Kraft P . Setzt man im Vorhergehenden statt des Wortes Geschwindigkeit das Wort Beschleunigung, so erhält man ähnliche Sätze für die constanten continuierlichen Kräfte. Nimmt man daher jene Kraft, welche der Masseneinheit die Beschleunigung 1 Fuss ertheilt, als Maass der constant continuierlichen Kräfte an, so ist jede solche Kraft $P = M \times G$ d. i. gleich der Masse multipliciert mit der Acceleration. — Ein Körper erhält durch eine Kraft eine Geschwindigkeit von 6'; um wie viel mal stärker ist die Kraft, welche demselben Körper die Geschwindigkeit 30' ertheilt? — Wie viel mal stärker oder schwächer müsste die Kraft sein, welche einer Masse von 42 Ctr. dieselbe Geschwindigkeit ertheilen würde, wie einer Masse a) von 12 Ctr. und b) von 63 Ctr.? —

97. Der freie Fall. Die Schwerkraft kann für kleine Entfernungen von der Erdoberfläche als unveränderlich angesehen werden. Ein frei ausgelassener Körper fällt daher in gleichförmig beschleunigter Bewegung vertical zu Boden, wenn wir vom Widerstande der Luft absehen, also annehmen als fiele der Körper im luftleeren Raume. Durch genaue Versuche hat man die Beschleunigung, welche die Schwerkraft einem Körper ertheilt, für Wien nahezu gleich 31 Fuss gefunden, so dass also die Fallhöhe der 1. Sec. 15.5 Fuss beträgt. Die Formeln I) und II) lassen sich daher unter der eben gemachten Beschränkung beim freien Fall zur Be-

rechnung der Endgeschwindigkeiten und der Fallhöhe anwenden; man hat in den Formeln nur $G = 31'$ zu setzen.

Liegt ein 6 Pfd. schwerer Körper auf einer schiefen Ebene, deren Höhe z. B. 4' und deren Länge 12', deren Steigung also $\frac{4}{12} = \frac{1}{3}$ beträgt, so ist die Kraft, welche den Körper herabgleiten macht, $6 \times \frac{1}{3} = 2$ Pfd. Diese Kraft ist also constant; daher bewegt sich ein Körper unter alleiniger Einwirkung der Schwere längs einer schiefen Ebene gleichförmig beschleunigt herab. Die Beschleunigung erhält man, wenn man (Fig. 126) die Acceleration $= 31'$ des freien Falles durch SD vorstellt und in $SE \parallel AB$ und $SF \perp AB$ zerlegt. Weil $\triangle SED \sim \triangle ABC$, so ist $SE : SD = BC : AB$, oder $SE : 31 = 4 : 12$; folglich ist $SE = \frac{1}{3} \times 31$. Die Acceleration eines auf einer schiefen Ebene herabgleitenden Körpers ist also gleich der Acceleration der Schwere multipliciert mit der Steigung der schiefen Ebene. — Die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung hat Galilei 1602 aufgefunden, indem er Kugeln in schiefen Rinnen herabrollen liess. —

Fig. 126.



Wie tief ist ein Schacht, wenn ein Stein 4 Sec. braucht, um unten anzukommen? — Wie tief müsste ein Schacht sein, wenn ein hineinfallender Stein unten mit einer Geschwindigkeit von 1500' ankommen sollte? —

98. Wurfbewegung. Nach der Richtung der momentanen Wurfkraft unterscheidet man den verticalen, den horizontalen und den schiefen Wurf. Der verticale Wurf zerfällt wieder in den verticalen Wurf nach abwärts und jenen nach aufwärts.

1. Verticaler Wurf a) nach abwärts. Die Schwerkraft wirkt hier im Sinne der Wurfkraft auf den geworfenen Körper (Projectil). Es wird daher der Körper sich gleichförmig beschleunigt vertical abwärts bewegen und zwar wird die einer gewissen Zeit T entsprechende Endgeschwindigkeit V der Summe aus der Wurfgeschwindigkeit B und dem von der Schwere herrührenden Geschwindigkeitszuwachs $G \times T$ gleich sein. Ebenso wird der in T Sec. zurückgelegte Weg erhalten, wenn man den Weg $\frac{1}{2} G T^2$, welchen das Pro-

jectil in Folge der alleinigen Wirkung der Schwerkraft zurückgelegt, zu dem Wege $C \times T$ addiert, welcher bei alleiniger Wirkung der Wurfkraft durchlaufen wird. Diese Sätze lassen sich durch die Gleichungen

I) . . . $V = C + G \times T$ und II) . . $S = C \times T + \frac{1}{2} G \times T^2$ ausdrücken.

b) Beim verticalen Wurf nach aufwärts wirkt die Schwere der Wurfkraft gerade entgegen; durch jene wird daher die Wurfgeschwindigkeit in jeder Secunde um $G = 31$ Fuss verringert werden. Eine Bewegung, bei welcher die Geschwindigkeit in jeder Secunde um gleichviel abnimmt, heisst eine *gleichförmig verzögerte Bewegung*. Ist die Geschwindigkeitsabnahme veränderlich, so wird die Bewegung eine *ungleichförmig verzögerte* genannt. Es tritt die eine oder die andere dieser Bewegungen ein, je nachdem die verzögernde Kraft constant oder veränderlich ist. Das erstere ist beim verticalen Wurf nach aufwärts der Fall; das

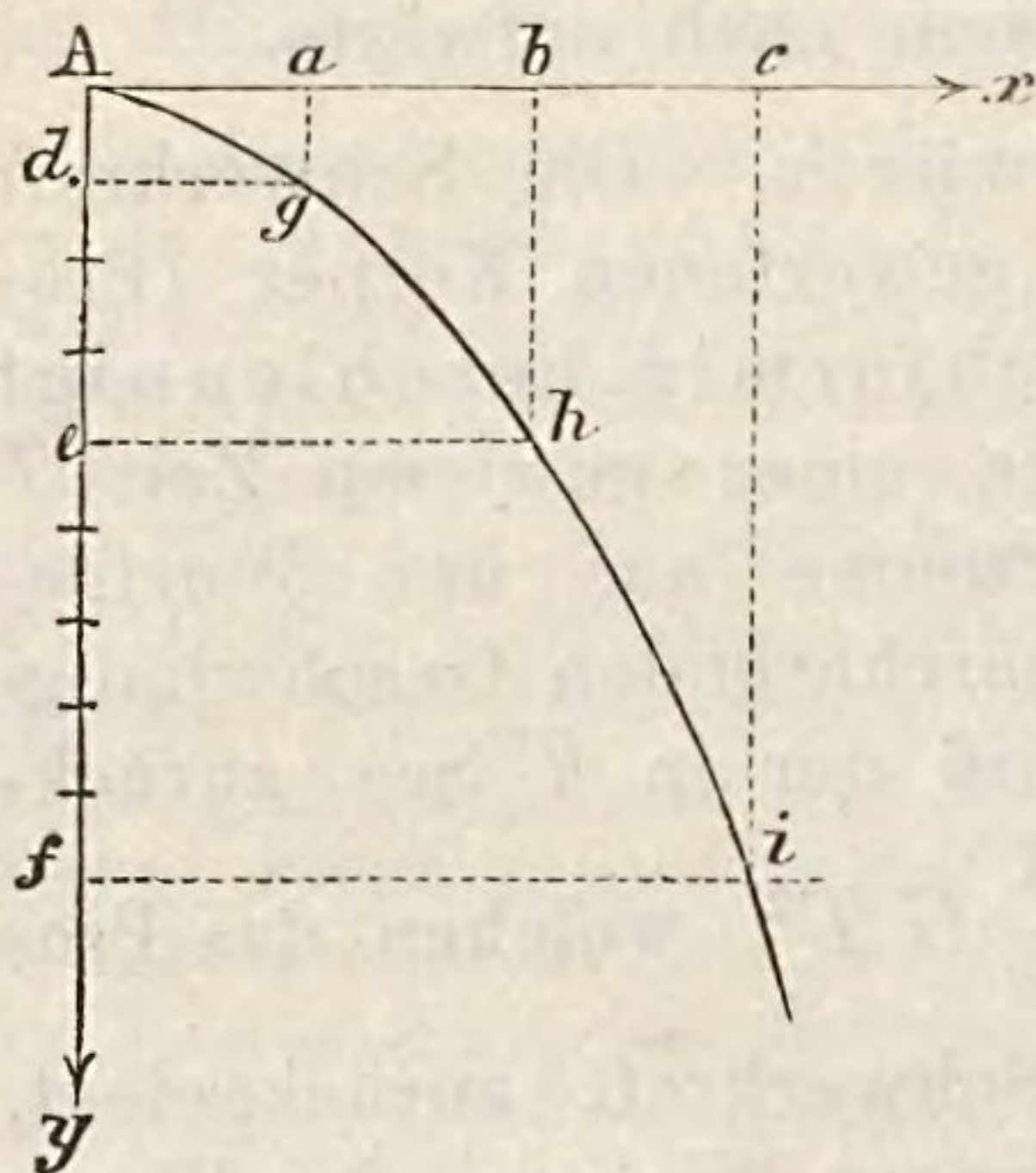
Projectil bewegt sich daher gleichförmig verzögert nach aufwärts, bis seine Endgeschwindigkeit Null geworden, wodann er wieder zur Erde fällt. Der Körper kommt am Boden genau mit der Geschwindigkeit an, mit welcher er nach aufwärts geworfen ward. Die Endgeschwindigkeit V und der Weg S für die Zeit T bestimmen sich aus den Gleichungen

$$\text{III) } \dots V = C - G \times T, \text{ IV) } \dots S = C \times T - \frac{1}{2} G \times T^2.$$

Wie hoch wird ein Körper steigen, welcher mit der Geschwindigkeit von 124' vertical aufwärts abgeschossen wird? Der Körper steigt so lange bis $G T = C$, also $31 T = 124$ ist, woraus $T = 124 : 31 = 4$ Sec. folgt. Setzt man diesen Werth für T in die Gleichung IV, so ergibt sich die Steighöhe $S = 124 \times 4 - \frac{1}{2} \times 31 \times 4^2 = 248$ Fuss. Um aus dieser Höhe herabzufallen, braucht der Körper wieder die Zeit von 4 Sec.; der Körper kommt also mit der Geschwindigkeit $31 \times 4 = 124$ Fuss, d. i. mit der Wurfgeschwindigkeit am Boden an. — Ein Körper wird mit einer Geschwindigkeit $C = 8'$ vertical abwärts geworfen; welchen Weg legt derselbe in 5 Sec. zurück? — Wie hoch steigt ein Körper, welcher mit der Geschwindigkeit $C = 170.5'$ vertical aufwärts geworfen wird?

B. Horizontaler Wurf. Ist Ax (Fig. 127) die Richtung der Wurf-, Ay die Richtung der Schwerkraft, so sucht der Körper in

Fig. 127.



Folge des Beharrungsvermögens sich stets in der Richtung Ax zu bewegen, während die Schwere ihn beständig vertical abwärts zieht. Sei $Aa = ab = bc$ der Weg, welchen das Projectil in je einer Secunde längs Ax zurückzulegen sucht, und Ad der Weg, welchen es frei fallend in der ersten Secunde zurücklegen würde. Bei alleiniger Wirkung der Wurfkraft käme der Körper in 1, 2, 3 Secunden im Punkte a, b, c an, unter dem gleichzeitigen Einflusse der Schwere fällt er zugleich in einer Secunde um die Strecke $Ad = ag$, in zwei Secunden um $Ae = bh = 4Ad$ u. s. w. herab. Das Projectil befindet sich daher am Ende der 1., 2., 3. Secunde der Reihe nach in den Punkten g, h, i u. s. w. Verbindet man diese Punkte durch eine zusammenhängende Linie, so erhält man keine gerade, sondern eine eigenthümlich krumme Linie, welche Wurflinie oder Parabel genannt wird. Hieraus folgt:

a) Beim horizontalen Wurf beschreibt das Projectil eine Parabel.

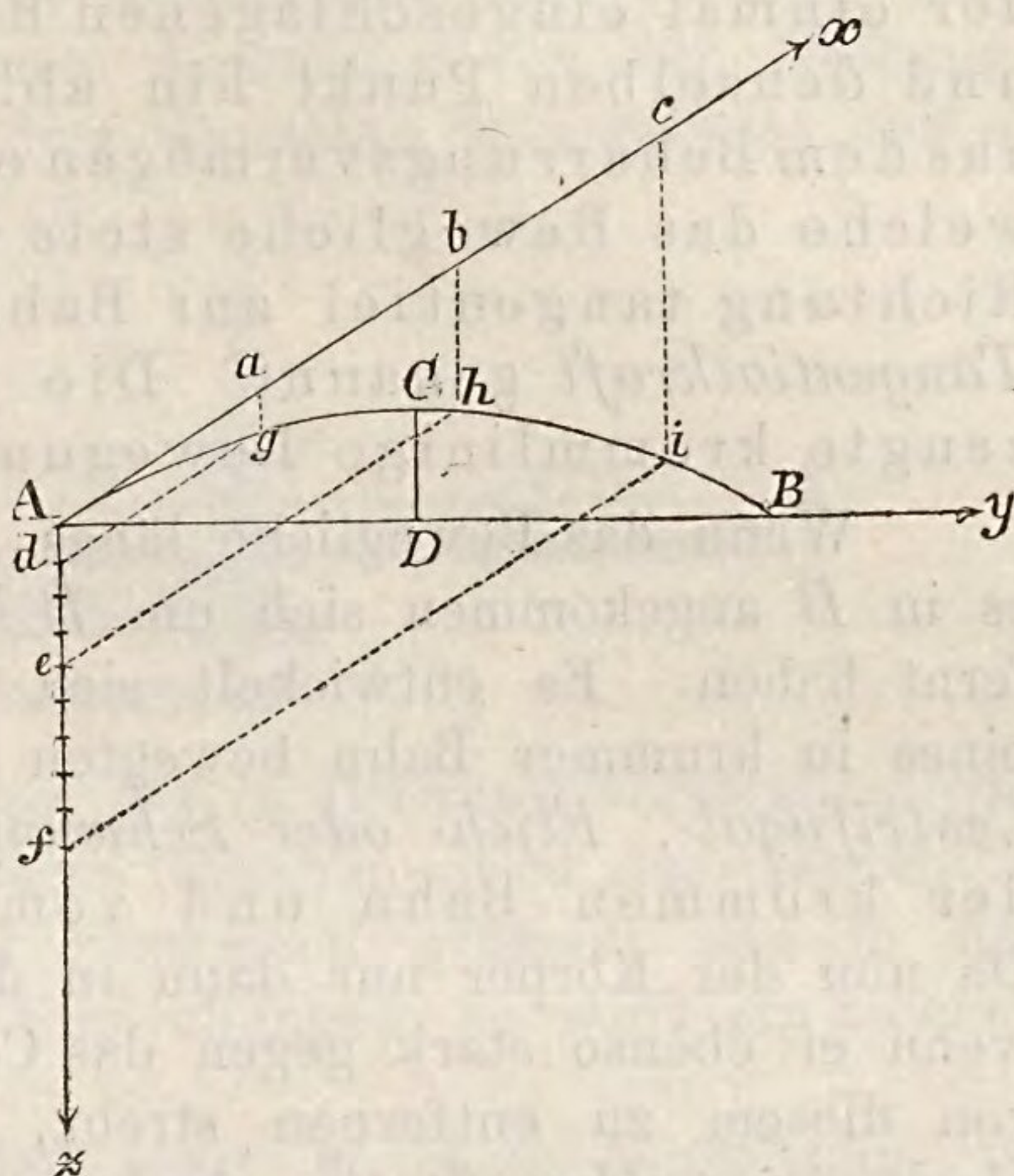
b) Wirken zwei ungleichartige Kräfte, z. B. eine momentane und eine constante Kraft, auf einen Körper unter einem Winkel ein, so entsteht immer eine krummlinige Bewegung.

Es erklärt sich nun auch, wesshalb ein Ball, welcher auf einem segelnden Schiffe an der Spitze des Mastes ausgelassen wird, dem Maste entlang herabfällt und dabei eine Parabel beschreibt. Denn der Ball hat die Geschwindigkeit des Schiffes, welches sich horizontal und gleichförmig weiter bewegt und zugleich

wirkt auf ihn die Schwerkraft ein. Wirft ein galoppierender Reiter einen Ball¹ lothrecht in die Höhe, so kann er ihn wieder auffangen.

3. Schiefer Wurf. Eine Wurfkraft ertheile dem Projectil A (Fig. 128) eine gewisse Geschwindigkeit in der Richtung Ax , so dass A in je einer Secunde die Wege $Aa = ab = bc$ zurücklegen würde, wenn es nicht gleichzeitig von der Schwere in der ersten Secunde um die Strecke Ad in zwei Secunden um $Ae = 4Ad$ u. s. w. vertical abwärts gezogen würde. A wird sich daher am Ende der ersten Secunde in g , am Ende der zweiten Secunde in h u. s. w. befinden und hiebei die Parabel $AghB$ beschreiben. Der Winkel xAy , welchen die Wurfrihtung mit dem Horizonte Ay bildet, heisst der Elevationswinkel, $AB = 2AD$ wird die Wurfweite und CD , d. i. der Abstand des höchsten Punktes C der Bahn vom Horizonte die Steighöhe genannt. Die Wurfweite ist bei einem Elevationswinkel von 45° am grössten, während die Steighöhe den grössten Werth erreicht, wenn der Körper vertical aufwärts geworfen wird.

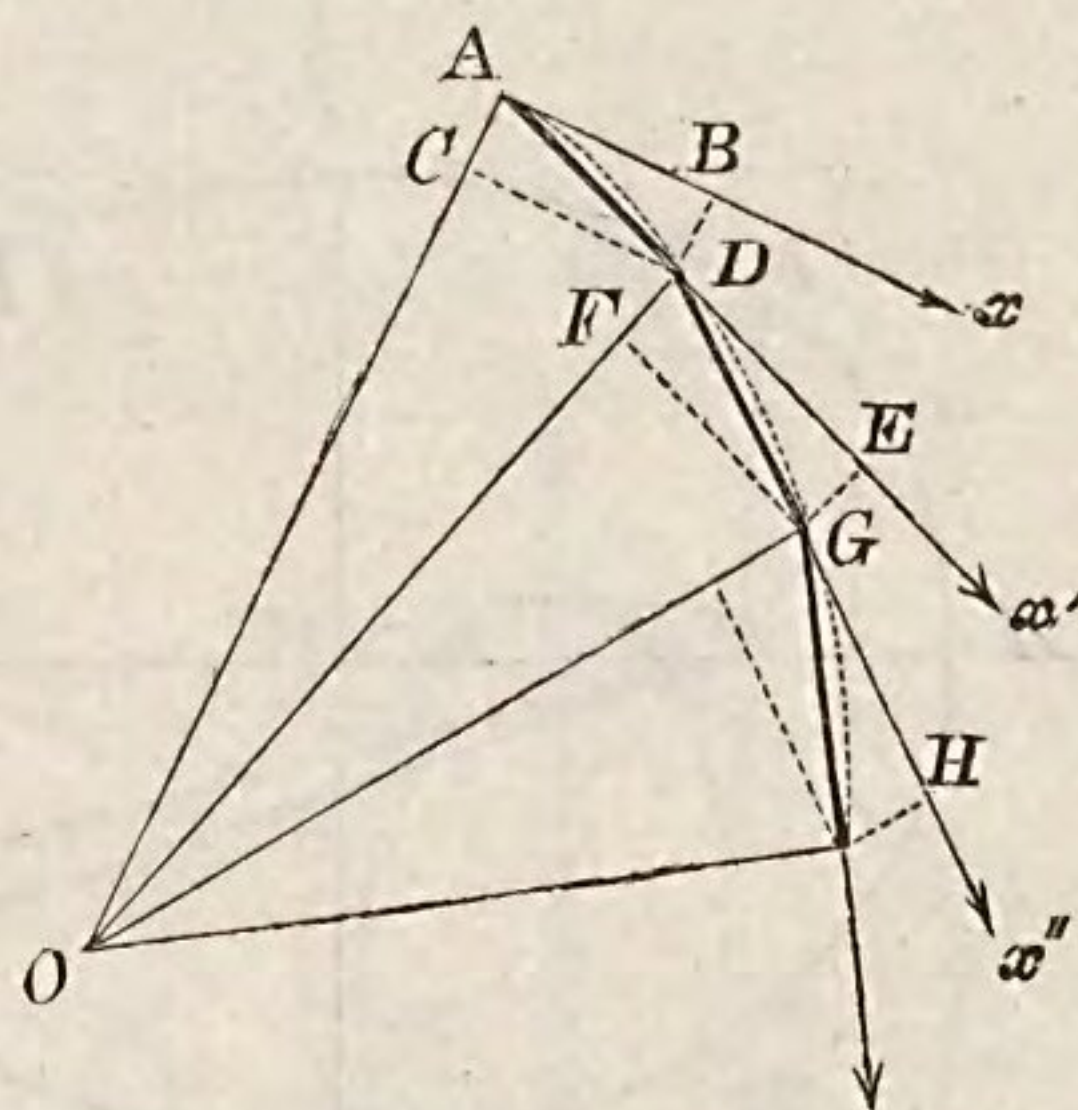
Fig. 128.



Bei der Betrachtung der Wurfbewegung wurde auf den Widerstand der Luft keine Rücksicht genommen; wegen desselben geht ein Theil der Wurfgeschwindigkeit verloren und daher wird z. B. beim schiefen Wurf die Wurfweite bedeutend verringert.

99. Centralbewegung. Ein materieller Punkt A (Fig. 129) werde in der Richtung Ax gestossen, so dass derselbe in einer sehr kleinen Zeit z. B. in 0.001 Sec. den Weg AB zurücklege. Gleichzeitig aber werde A von einer Kraft nach Q gezogen, so dass er dieser Kraft allein folgend den Weg AC in derselben Zeit durchlaufe, in welcher AB in Folge der Stosskraft zurückgelegt wird. A wird also nach Verlauf von 0.001 Sec. in D anlangen, wobei er die Diagonale des Parallelogramms $ABDC$ beschreibt. In D angekommen sucht A vermöge seines Beharrungsvermögens sich längs Dx' und zwar im folgenden 0.001 Sec. um $DE = AD$ weiter zu bewegen. Nun werde aber A wieder um DF gegen O hingezogen. Aus diesem Grunde wird A den Weg DG zurücklegen und nach 0.002 Secunde in G eintreffen. Von G aus strebt A im folgenden Zeittheilchen wieder längs Gx'' den Weg $GH = DG$ zu durchlaufen, es wird jedoch

Fig. 129.

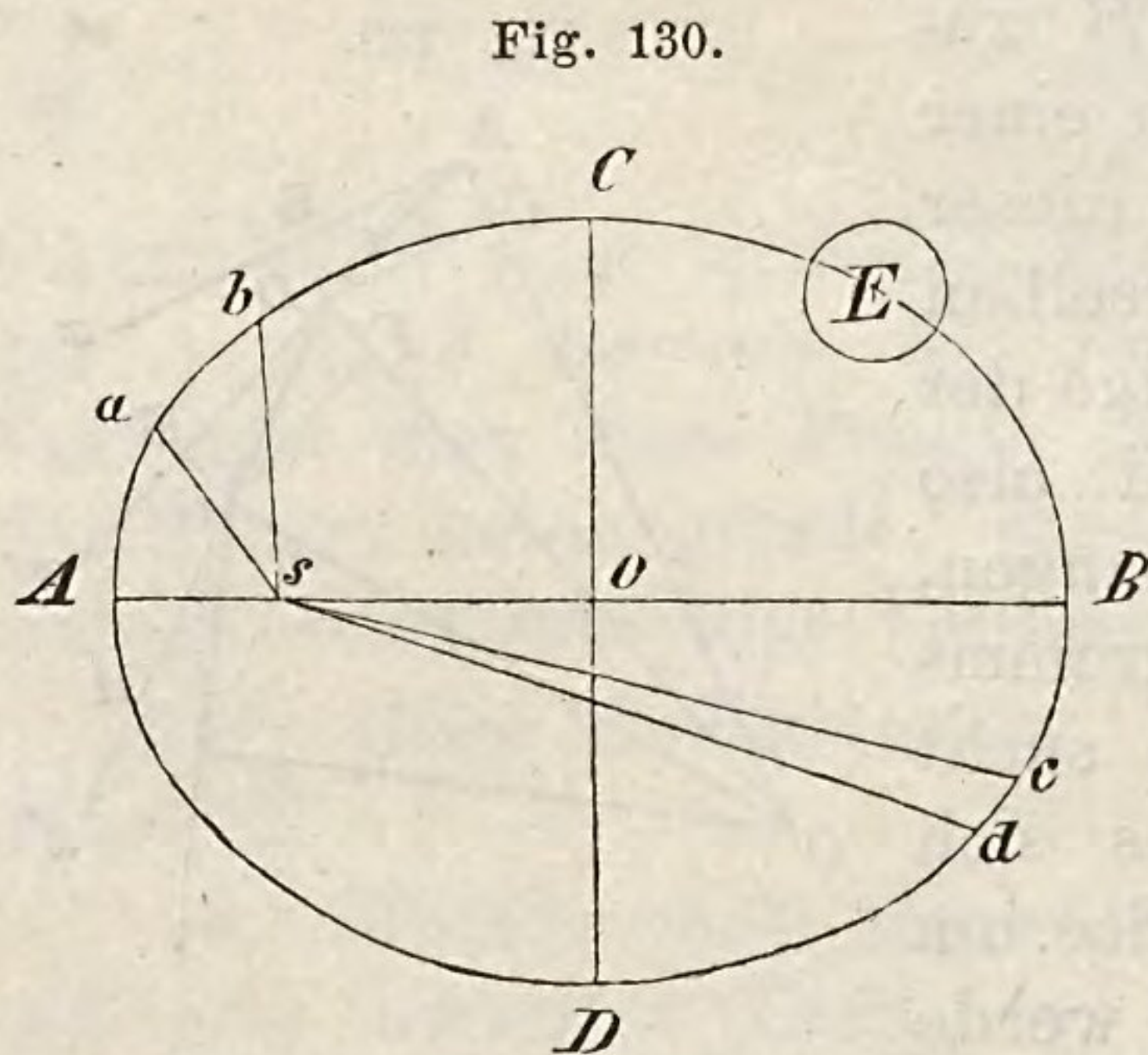


abermals gegen O hin abgelenkt u. s. w. In Folge des nach O gerichteten Zuges beschreibt das Bewegliche A um den Punkt O herum eine Vieleckslinie, deren Seiten sehr klein sind und welche in die punktierte krumme Linie übergeht, wenn der Zug sich ununterbrochen wiederholt. Man nennt die Kraft, welche das Bewegliche von der einmal eingeschlagenen Richtung beständig gegen einen und denselben Punkt hin ablenkt, die *Centripetalkraft*. Die aus dem Beharrungsvermögen entspringende momentane Kraft, welche das Bewegliche stets in der einmal angenommenen Richtung tangential zur Bahn weiter bewegen will, wird *Tangentialkraft* genannt. Die von zwei solchen Kräften erzeugte krummlinige Bewegung heisst *Centralbewegung*.

Wenn das Bewegliche längs Ax sich bewegen könnte, so würde es in B angekommen sich um $BD = AC$ vom Centralpunkt O entfernt haben. Es entwickelt sich also aus dem Beharrungsvermögen eines in krummer Bahn bewegten Körpers eine Kraft, die sogenannte *Centrifugal-, Flieh- oder Schwungkraft*, welche den Körper von der krummen Bahn und vom Centrum zu entfernen sucht. Da nun der Körper nur dann in der krummen Bahn verbleiben kann, wenn er ebenso stark gegen das Centrum hingezogen wird als er sich von diesem zu entfernen strebt, so folgt, dass *Fliehkraft und Centripetalkraft in jedem Punkte der Bahn einander gleich* sein müssen.

Wird z. B. ein Stein an einem Faden von unveränderlicher Länge befestigt und geschwungen, so beschreibt der Stein einen Kreis, dessen Halbmesser der Fadenlänge gleich ist. In Folge der Fliehkraft wird der Faden gespannt; die Centripetalkraft ist hier durch die Festigkeit des Fadens ersetzt. Bei sehr rascher Drehung kann der Faden reissen, wodann der Stein tangential fortfliegt.

Die Bewegung der Erde und der andern Planeten um die Sonne ist eine Centralbewegung, bei welcher der Mittelpunkt der Sonne den Centralpunkt bildet. Der grosse deutsche Astronom Keppler fand (1610): 1. die Planeten, wie z. B. die Erde E (Fig. 130), beschreiben Ellipsen, in deren einem Brennpunkte s sich der Mittelpunkt der Sonne befindet und welche von einem Kreise nicht viel verschieden sind; 2. die vom Centralpunkte zum Mittelpunkt des Planeten gezogene Gerade, d. i. der Leitstrahl beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächen; so ist z. B. $sab = scd$ wenn ab und cd in gleichen Zeiten zurückgelegt werden; 3. die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kubikzahlen der mittleren Entfernungen von der Sonne. Die mittlere Entfernung ist die halbe grosse Axe AB der vom Planeten beschriebenen Ellipse. Aus diesen drei *Keppler'schen Gesetzen* leitete der Engländer Newton (1682) das sogenannte *Gravitationsgesetz* ab, welches lautet: Die Bewegung eines

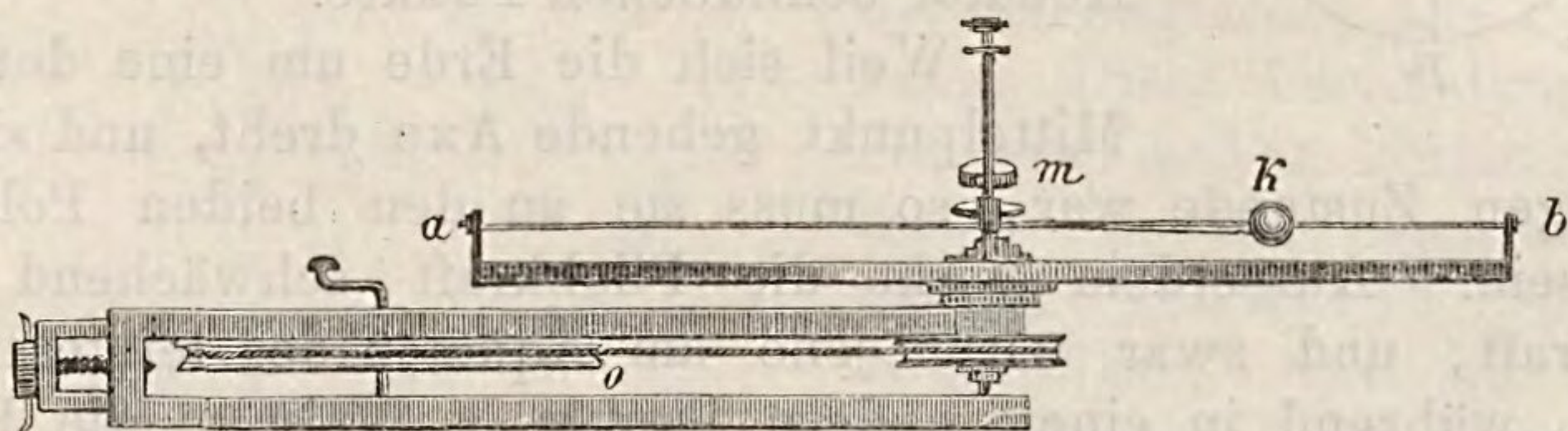


Planeten um die Sonne geht so vor sich als ob seine Masse und jene der Sonne sich wechselseitig mit einer Kraft anzögen, welche gerade so wächst wie das Product der Massen und abnimmt wie das Quadrat der Entfernungen ihrer Mittelpunkte wächst. — Aus-

dem 2. Keppler'schen Gesetze folgt, dass die Geschwindigkeit um so kleiner wird, je weiter das Bewegliche vom Centralpunkte entfernt ist. Dieselbe ist daher in der Sonnennähe A am grössten, in der Sonnenferne B am kleinsten; von A durch C nach B nimmt die Geschwindigkeit ab, von B durch D nach A wieder zu. — Auch die Monde bewegen sich um ihre Hauptplaneten nach den obigen Gesetzen.

100. Gesetze und Wirkungen der Fliehkraft. Versuch a). Wenn man die Kugel k (Fig. 131) in einem Abstand r von der Drehungsaxe stellt, durch eine Schnur mit dem Gewichte m verbindet und a b

Fig. 131.



mittelst der Kurbel und der Rollen o, e in Drehung versetzt, so wird die Schnur gespannt und bei rascherer Rotation wird das Gewicht m gehoben. Macht man den Abstand r zweimal grösser, und in derselben Zeit wie vorhin gleich viel Umdrehungen, so wird ein zweimal grösseres Gewicht gehoben.

1. Die Fliehkraft wächst bei sonst gleichen Umständen wie der Abstand von der Drehungsaxe.

Versuch b). Man lasse den Abstand r unverändert, drehe aber 2, 3, 4mal schneller als vorhin; die Kugel k wird dann ein 4, 9, 16faches Gewicht heben.

2. Die Fliehkraft wächst wie das Quadrat der Umdrehungsgeschwindigkeit.

Versuch c). Setzt man eine Vorrichtung wie Fig. 132, statt des vorhin gebrauchten Aufsatzes auf die Schwungmaschine, und dreht mittelst der Kurbel, so bleiben die durch eine Schnur verbundenen Kugeln m und n in Ruhe, wenn der Abstand der zweimal grösseren Kugel m zweimal kleiner ist als der Abstand der kleineren Kugel n ; wird der Abstand der Kugel n von der Drehungsaxe kleiner gemacht, so bewegen sich beide Kugeln in der Richtung $n m$.

Fig. 132.

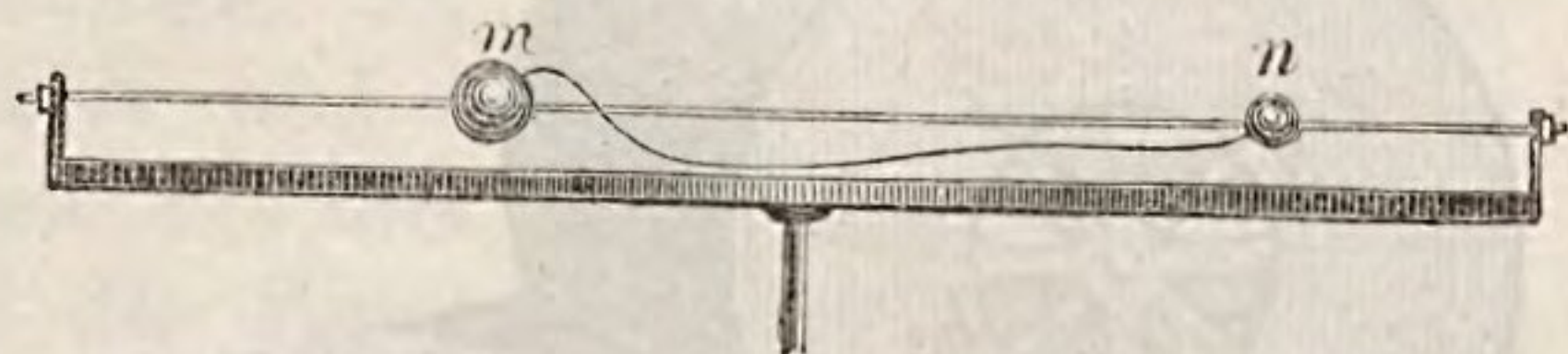
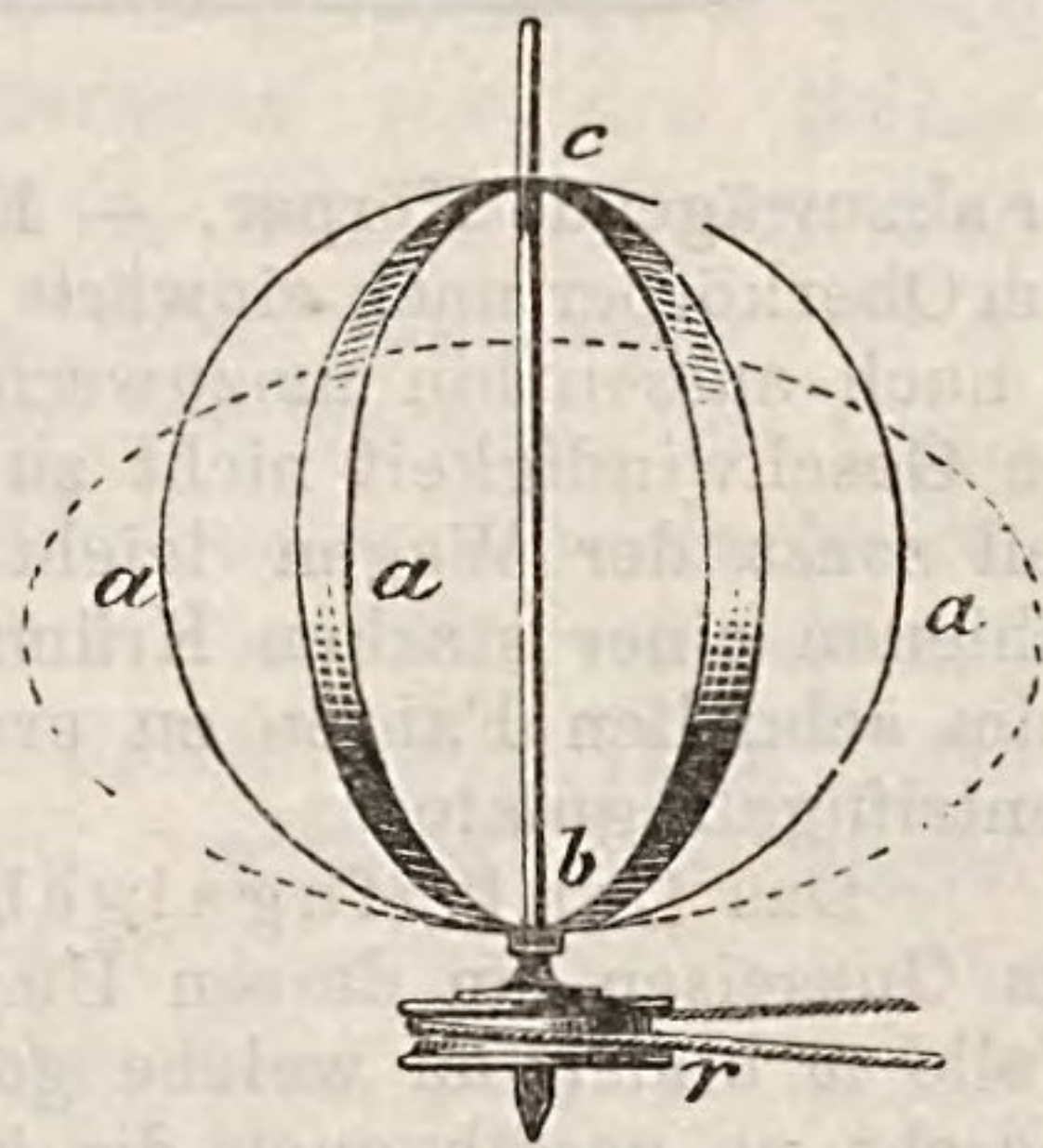


Fig. 133.

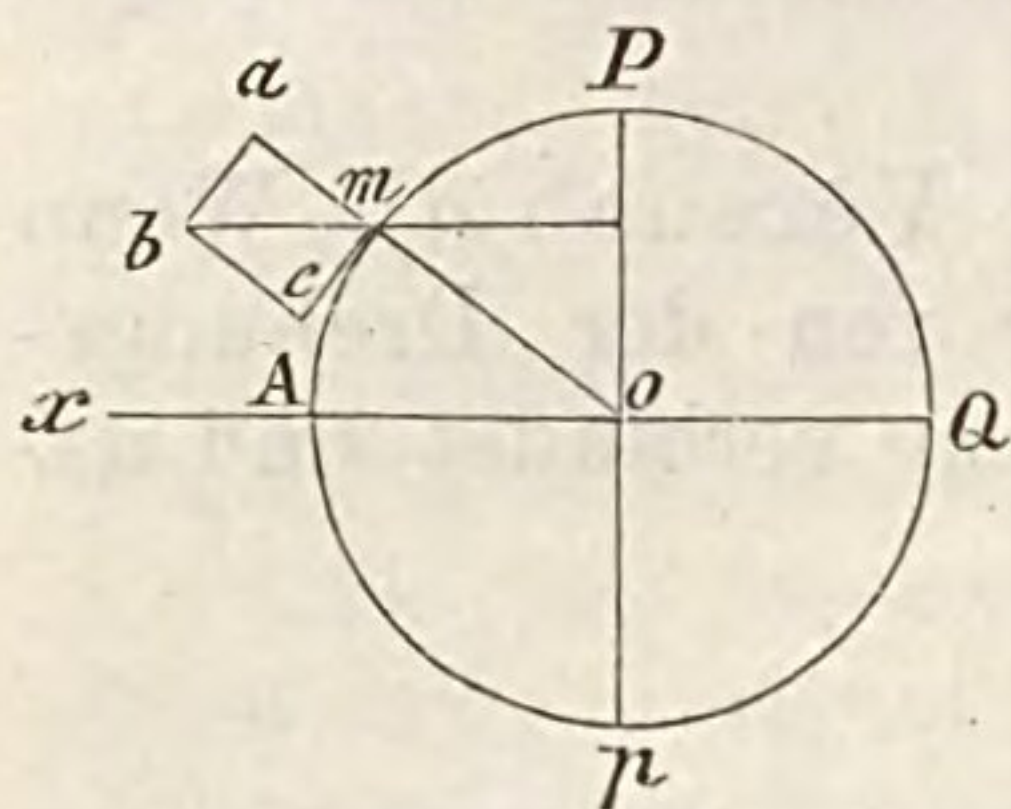


3. Die Fliehkraft wächst also gerade so wie die Masse des Beweglichen.

Versuch d). Wird das elastische Kugelgerippe (Fig. 133) auf die Schwungmaschine gesetzt und rasch gedreht, so verlieren die Ringe ihre Kreisform, indem sie bei c und b abgeplattet, bei a aber ausgebaucht werden. Sei $P p$ (Fig. 134) die

Drehungsaxe eines solchen Ringes, so hat man zu beachten, dass jeder Punkt wie A, m einen Kreis beschreibt, dessen Ebene auf der Drehungsaxe senkrecht steht. Da A eine Bahn von grösserem Halbmesser als m beschreibt, so ist die in Ax wirkende Fliehkraft grösser (vergl. 1) als jene in m , welche in der Richtung mb wirkt. In A , d. i. am Äquator AQ werden sich also die Theilchen von der Drehungsaxe weiter zu entfernen suchen als in m oder einem andern nicht im Äquator befindlichen Punkte.

Fig. 134.

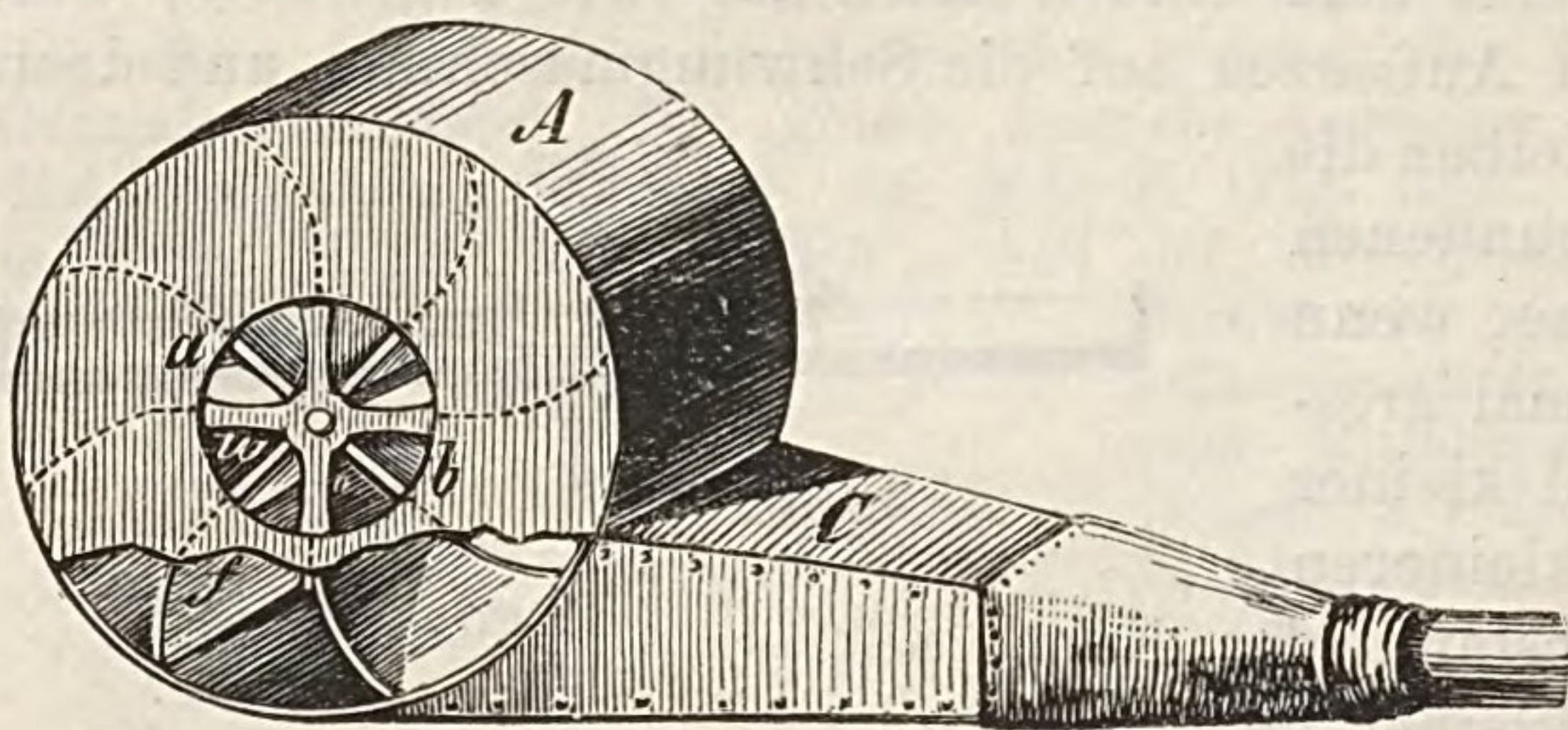


Weil sich die Erde um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe dreht, und sie einmal im flüssigen Zustande war, so muss sie an den beiden Polen abgeplattet sein. Ausserdem wirkt die Fliehkraft schwächend auf die Schwerkraft, und zwar wirkt jene am Äquator der letzteren gerade entgegen, während in einem andern Punkte z. B. in m die Fliehkraft bm (Fig. 134) nur mit der Componente ma der Schwere entgegen gerichtet ist. Durch Zeichnung kann man sich überzeugen, dass die Componente ma , also die Schwächung der Schwerkraft um so kleiner wird, je grösser der Bogen Am oder die geographische Breite wird. Aus dem Gesagten ergibt sich:

a) Die Erde ist keine vollkommene Kugel, sondern an den Polen etwas abgeplattet.

b) Die Schwerkraft, mithin auch die von ihr erzeugte Beschleunigung ist am Äquator am kleinsten und nimmt gegen die Pole hin zu.

Fig. 135.



Der Halbmesser des Erdäquators beträgt etwa 859.4 die halbe Erdaxe 856.6 geographische Meilen; der Unterschied beträgt also nahezu 2.8 geographische Meilen. — Das Gewicht eines Körpers ist am Äquator kleiner als an den Polen. Eine richtige Hebelwage gibt jedoch überall das Gewicht genau an, weil der Gewichtstein um ebenso vielleicht oder schwerer wird als

der abzuwägende Körper. — Ein Pferd, welches im Kreise herumläuft, neigt sich mit dem Oberkörper nach einwärts um so stärker, je schneller es läuft, da die Fliehkraft es nach aussen hin umzuwerfen sucht. Führt ein Wagen in einem Bogen, so darf die Geschwindigkeit nicht zu gross, der Radius des Bogens nicht zu klein sein, weil sonst der Wagen leicht umwirft. Auf Eisenbahnen werden die äusseren Schienen einer starken Krümmung höher gelegt, um das Ausgleiten der Wagen beim schnellen Fahren zu erschweren. Abspritzen des Koths von den Rädern. Centrifugalregulator.

Das Centrifugalgebläse besteht aus einem hohlen Cylinder A (Fig. 135) aus Gusseisen, an dessen Umfang ein Rohr C angesetzt ist, und dessen Axe eine Welle w bildet, an welche gekrümmte Flügel f angesetzt sind. Wird die Welle gedreht, so geräth auch die innere Luft in Rotation und entweicht wegen der

ungleichförmig beschleunigter Bewegung, den Bogen $a a'$ in ungleichförmig verzögerter Bewegung rückgängig durchlaufen, und dann den Hin- und Hergang in der früheren Weise wiederholen.

Das Pendel ist dem Gesagten zufolge auf eine bestimmt begrenzte Bahn, welche regelmässig hin und zurück durchlaufen wird, beschränkt, d. h. *die Bewegung des Pendels ist eine schwingende oder oscillierende*. Der Gang von a' durch die Ruhelage nach a'' heisst eine *Schwingung* (Oscillation), die Zeit, welche während einer Schwingung verfliesst, wird *Schwingungszeit* genannt. Der Bogen $a' a a''$ heisst Schwingungsbogen, die Ebene $a' c a''$, in welcher das Pendel oscilliert, wird *Schwingungsebene*, der grösste Winkel $a' c a = a c a''$, welchen das Pendel mit der Ruhelage bildet, wird *Ausschlagswinkel* genannt.

Es ist wohl ersichtlich, dass das Pendel einmal in Bewegung versetzt beständig hin und her oscillieren müsste, wenn keine Widerstände vorhanden wären; wegen der letzteren aber wird der Ausschlagswinkel immer kleiner bis das Pendel ganz zur Ruhe kommt.

102. Gesetze der Pendelschwingungen. Versuch *a*). Hängt man zwei gleich lange Pendel neben einander und gibt ihnen einen Ausschlag, welcher 5^0 nicht übersteigt, z. B. dem ersten einen Ausschlag von 4^0 , dem andern einen solchen von nur 2^0 , so machen beide Pendel in gleichen Zeiten z. B. in einer Minute gleich viel Schwingungen. Hieraus folgt:

1. *Gleich lange Pendel besitzen an demselben Orte gleiche Schwingungszeit.*

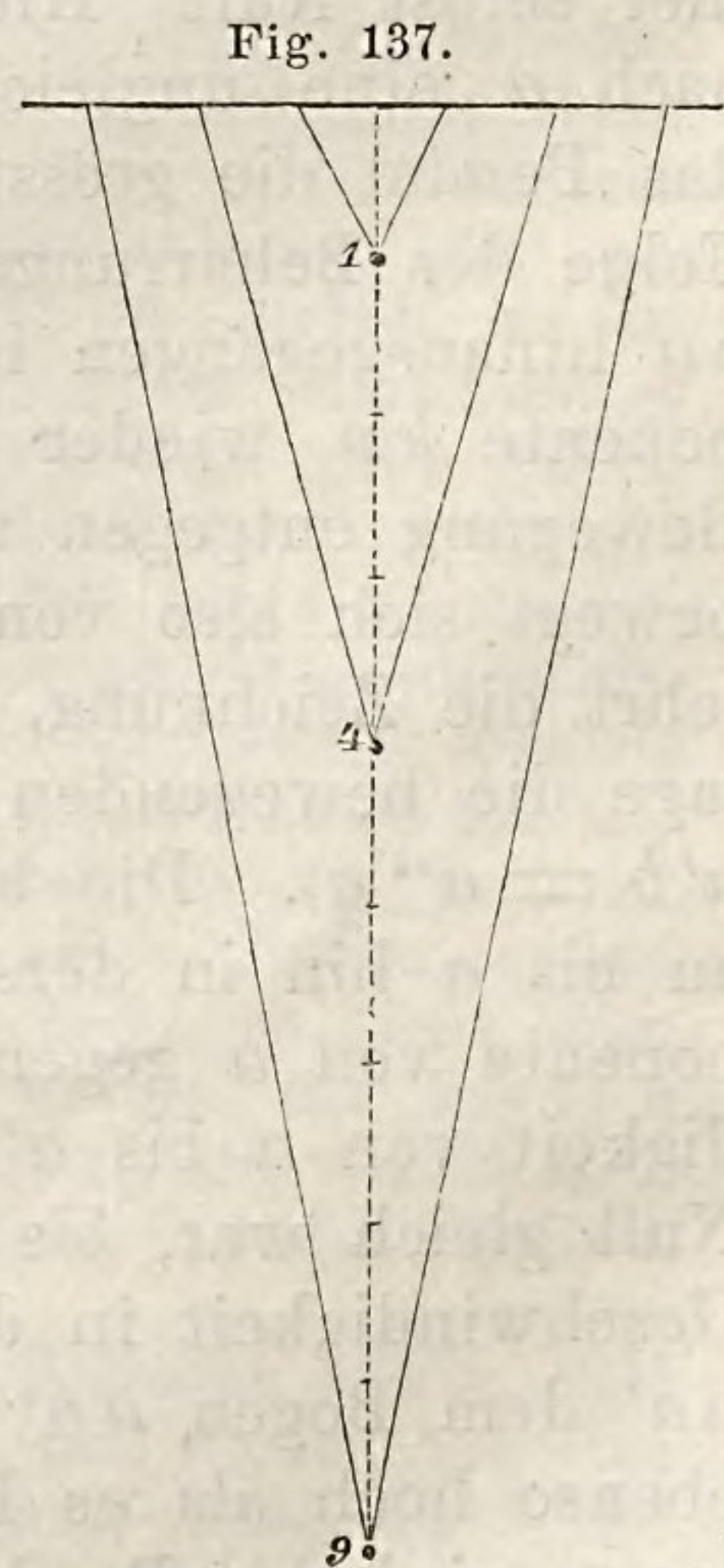
2. Ein Pendel vollendet eine Schwingung in derselben Zeit, mag der Schwingungsbogen grösser oder kleiner sein, so lange derselbe 10^0 nicht übersteigt, d. h. *die Schwingungen desselben Pendels sind für nur kleine Schwingungsbogen gleichzeitig (isochron).*

Ein Schwingungsbogen von 8^0 wird also vom Pendel in derselben Zeit zurückgelegt, wie ein Bogen von nur 4^0 , 2^0 u. s. w.

Versuch *b*). Man lasse die drei Pendel (Fig. 137), deren Längen im Verhältnisse $1 : 4 : 9$ stehen, schwingen und bestimme die Anzahl der Schwingungen, welche sie in gleichen Zeiten machen. Es ergibt sich dabei, dass jenes Pendel, dessen Länge 1 ist, in derselben Zeit 2mal mehr Schwingungen macht als das Pendel, dessen Länge $4 = 2^2$ ist, und dass das erstere in derselben Zeit 3mal mehr Oscillationen vollendet als das Pendel, dessen Länge $9 = 3^2$ ist.

3. Wenn zwei Pendel ungleiche Länge besitzen, so haben sie ungleiche Schwingungszeiten und zwar schwingt das 4-, 9-, 16 mal längere 2-, 3-, 4mal langsamer, d. h. *die Quadrate der Schwingungszeiten von zwei verschieden langen Pendeln verhalten sich so wie die Pendellängen.*

Nennt man die Zahl der Schwingungen, welche ein Pendel während einer Secunde macht, die Schwingungszahl, so lässt sich das letztere Gesetz auch aus-



drücken: Das Quadrat der Schwingungszahlen eines Pendels nimmt gerade so ab wie die Länge des Pendels wächst. — Ein Pendel, welches in einer Secunde eine Schwingung macht, heisst ein Secundenpendel. Die Länge des Secundenpendels ist für Wien etwa 3.144 Fuss.

Versuch c). Hänge mehrere gleich lange Pendel, welche Kügelchen aus verschiedenen Stoffen und von verschiedenen Gewichten haben, neben einander auf; alle haben dieselbe Schwingungszeit.

4. *Die Schwingungsdauer ist vom Gewichte und der materiellen Beschaffenheit des Pendels unabhängig.*

Durch Versuche und Rechnung hat man ferner gefunden:

5. *Die Schwingungsdauer eines Pendels von bestimmter Länge ist verschieden an verschiedenen Orten der Erde.*

6. *Das Quadrat der Schwingungszeit wächst und nimmt ab, so wie die Beschleunigung der Schwerkraft abnimmt oder wächst.*

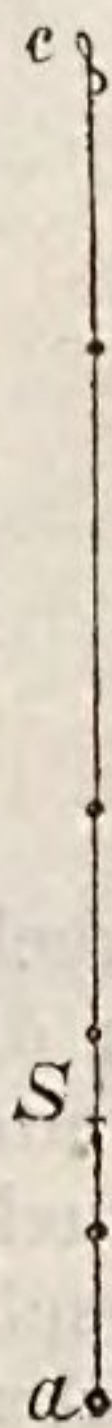
Ein Pendel, welches z. B. in Wien Secunden schlägt, muss am Äquator verkürzt an den Polen verlängert werden, wenn es daselbst gleichfalls Secunden schlagen soll [vgl. §. 100, b)].

Die ersten Gesetze des Pendels hat Galilei entdeckt, Huyghens hat (1658) Galilei's Entdeckungen vervollständigt. Der Franzose Richer fand 1672 zu Cayenne, welches etwa 5° nördlich vom Äquator liegt, dass das Pendel, welches in Paris Secunden schlug, um $1\frac{1}{4}$ Linie verkürzt werden musste. — Ist l die Länge eines einfachen Pendels, dessen Schwingungszeit in Secunden ausgedrückt t heisst, und ist g die Acceleration der Schwere, so kann man t aus der Gleichung

$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ berechnen, worin $\pi = 3.14159$ ist.

103. Das zusammengesetzte Pendel. Ein schwerer Körper, welcher um eine horizontale, nicht durch seinen Schwerpunkt gehende Axe drehbar ist, wird ein *physisches Pendel* genannt. Eine Kugel a (Fig. 138), welche an einem Drahte aufgehängt ist, stellt z. B. ein solches Pendel vor, wenn der Draht nicht als gewichtlos angesehen werden kann. Jedes Theilchen des Drahtes ist mit c fest verbunden und bildet ein einfaches Pendel. Das physische Pendel kann daher als aus vielen einfachen Pendeln zusammengesetzt betrachtet werden; dasselbe wird deshalb gewöhnlich ein *zusammengesetztes Pendel* genannt. Die der Axe näher gelegenen Theilchen des zusammengesetzten Pendels schwingen (3. §. 102) schneller als die tiefer gelegenen; jene wirken daher auf letztere beschleunigend, diese auf jene wieder verzögernd ein. Es muss nun einen Punkt S geben, dessen Schwingungen weder verzögert noch beschleunigt werden, welcher also derart schwingt, als wäre er der einzige schwere Punkt des physischen Pendels. Diesen Punkt heisst man *Schwingungspunkt*. Sein Abstand cS von der Drehungsaxe gibt die Länge eines einfachen Pendels an, welches dieselbe Schwingungsdauer wie das zusammengesetzte Pendel hat; diese Länge wird die *reducierte Länge des zusammengesetzten Pendels* genannt.

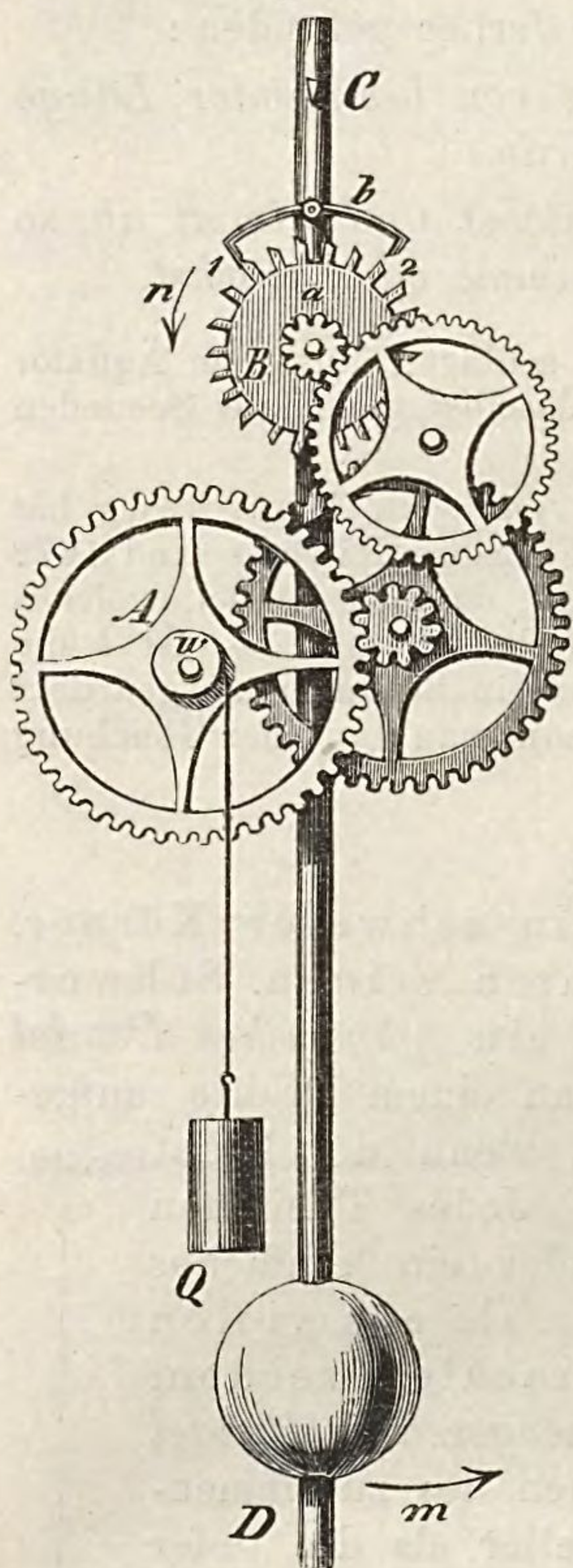
Um die reducierte Länge eines zusammengesetzten Pendels zu finden, kann man ein Platin- oder im Nothfalle ein Bleikügelchen an einen sehr feinen Draht



oder Faden aufhängen und diesen so lange verkürzen oder verlängern, bis beide Pendel gleichzeitig schwingen.

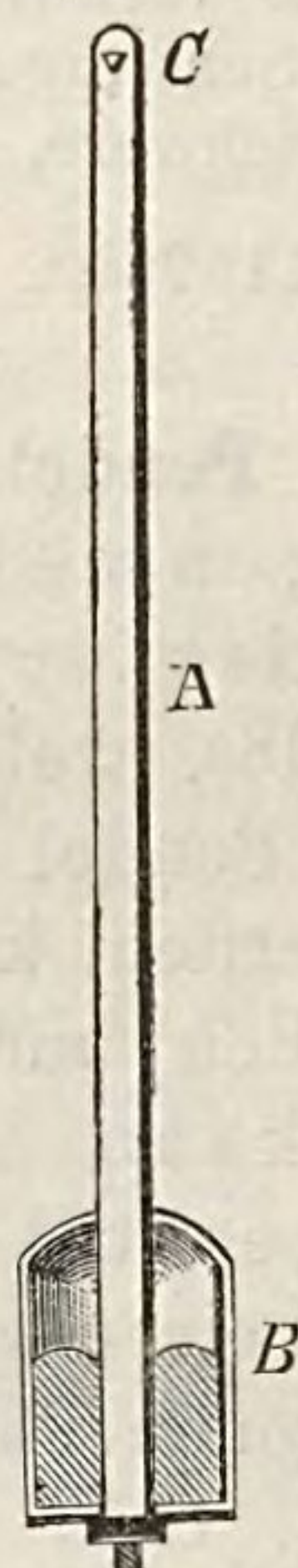
Anwendungen des Pendels. Weil die Schwingungsdauer des Pendels an einem und demselben Orte unveränderlich ist, so lange seine Länge sich gleich bleibt, so eignet sich das Pendel ganz vorzüglich zur Zeitmessung. Der Holländer Huyghens hat die Verwendbarkeit des Pendels zur Zeitmessung zuerst erkannt, indem er 1658 die erste *Pendeluhr* anfertigte. Die Pendeluhr besteht aus mehreren gezähnten Rädern, welche so mit einander verbunden sind, dass die Zähne des einen in das Getriebe des andern eingreifen. Um die Welle *w* (Fig. 139) des Rades *A* ist eine Schnur gewickelt, an welcher das Gewicht *Q*

Fig. 139.



hängt. Indem *Q* schneller und schneller fällt, setzt es das Räderwerk in eine ungleichförmige Bewegung. Diese Bewegung wird durch das um *C* drehbare Pendel *CD* in eine gleichförmige verwandelt; zu diesem Zwecke ist das Pendel mit der Ankerhemmung *b* versehen. Hängt das Pendel vertical, so greift der Haken 1 des Metallbiegels *b* gerade unter einen Zahn des Steigrades *B*, welches durch *Q* in der Richtung des Pfeiles *n* zur Bewegung angeregt wird. Das ganze Räderwerk ist daher an der Bewegung gehindert. Wird aber das Pendel nach links gehoben, so wird *B* wieder frei; *B* kann jedoch nur um die halbe Zahnbreite weiter gehen, weil sogleich wieder der Haken

Fig. 140.



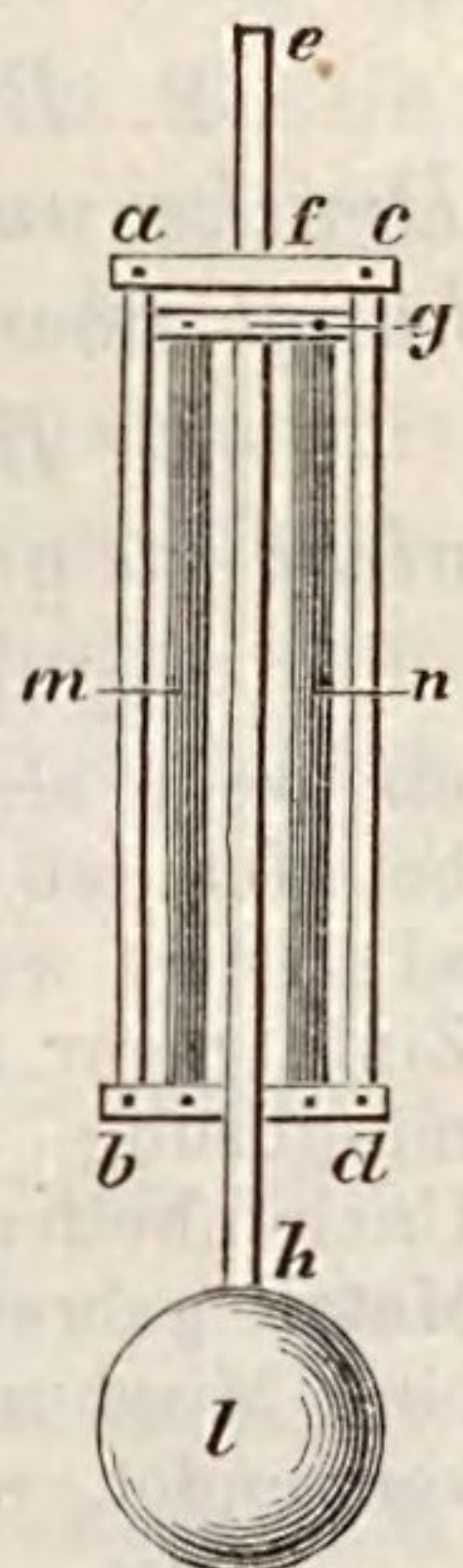
2 in die Zähne eingreift. Bei der Bewegung des Pendels nach *m* wird 2 wieder ausgehoben und *B* geht um die zweite Hälfte der Zahnbreite vorwärts. In Folge dieses regelmäßig abwechselnden Eingreifens der Haken 1, 2 in die Zähne des Steigrades wird die durch *Q* erzeugte Bewegung derartig geregelt, dass *B* während zweier Pendelschwingungen immer um einen Zahn in der Richtung *n* vorwärts rückt und auch die andern Räder sich gleichförmig drehen. Hätte das Rad *B* z. B. 30 Zähne, und schlug das Pendel Secunden, so würde jenes in 60 Sec. = 1 Minute einen Umlauf machen und daher ein mit der Axe verbundener Zeiger, welcher sich über einen in 60 gleiche Bögen getheilten Kreis bewegt, Secunden anzeigen. Wählt man die Anzahl der Zähne bei den einzelnen Rädern und Getrieben ent-

sprechend, so kann man es dahin bringen, dass ein zweites Rad in einer Stunde, ein drittes aber in 12 Stunden einen Umlauf vollendet, dass also der Zeiger des zweiten Rades Minuten, jener des dritten Rades Stunden angibt. Durch den Druck des Steigrades gegen die Haken der Hemmung wird der Verlust an Geschwindigkeit, welchen das Pendel in Folge des Luftwiderstandes und der Reibung an der Axe erleidet, ausgeglichen, so dass das Pendel immer gleichzeitige Schwingungen macht. Damit das Pendel die Luft leichter durchschneide, wird *B* gewöhnlich linsenförmig gemacht. Durch ein Emporrücken der Linse wird der Schwingungspunkt des Pendels der Axe *C* genähert; die reducierte Länge und die Schwingungsdauer werden daher kleiner. Ein Herabrücken der Linse hat das Gegentheil zur Folge. Auf diese Weise kann man es bewirken, dass die Uhr weder vorseilt noch zurückbleibt.

Durch Temperaturänderungen wird die Pendellänge und somit auch der Gang der Uhr verändert. Um diese Störungen auszugleichen (zu compensieren)

hat man sogenannte *Compensationspendel* angefertigt. Um das Wesen eines solchen Pendels kennen zu lernen, denke man sich an der eisernen Pendelstange *A* (Fig. 140) statt der Linse ein eisernes Gefäß *B* angebracht. Angenommen das Pendel wäre bei der Temperatur von $15^{\circ} C$. ausgeführt, so dass es Secunden schlägt. Bei einer Temperaturerhöhung verlängert sich die Pendelstange, der Schwingungspunkt sinkt, die Schwingungsdauer wird 1 Sec. übersteigen. Diese Verzögerung könnte durch ein Höherrücken von *B*, d. i. dadurch dass man Massentheilchen des Pendels näher an die Axe *C* rückt, wieder ausgeglichen werden. Wäre nun *B* theilweise mit Quecksilber, welches sich fast 17mal stärker als Eisen ausdehnt gefüllt, so würden in Folge der Ausdehnung des Quecksilbers Massentheilchen gegen *C* hingerückt und es würde dadurch der Schwingungspunkt gehoben. Ist die Höhe der in *B* befindlichen Quecksilbersäule zweckmässig gewählt, so werden die Verrückungen des Schwingungspunktes, welche durch die Ausdehnung der Eisenstange einerseits, und durch die Ausdehnung des Quecksilbers andererseits bewirkt werden, einander gleich und heben sich daher auf, weil sie im entgegengesetzten Sinne erfolgen; die reducierte Länge und die Schwingungsdauer bleiben daher unverändert. Diese Compensation heisst *Quecksilbercompensation*. Ein anderes Compensationspendel ist das *Rostpendel* (Fig. 141) *a b c d* ist ein Eisenrahmen, *m n* sind zwei Zinkstangen, die durch einen Eisenstab *g*, welcher die Eisenstange *h* und die Linse *l* trägt, verbunden sind; an *e f* ist das Pendel aufgehängt.

Fig. 141.



Das Pendel wird auch verwendet um die Schwerkraft genauer kennen zu lernen. Die Richtung des frei und ruhig hängenden Pendels gibt die Richtung der Schwerkraft an (vergl. §. 5). Aus 1. §. 102 folgt, dass *die Schwerkraft an demselben Orte dieselbe Stärke* behält; aus 4. §. 102 ergibt sich, dass *alle Körper gleich schwer* sind (vgl. 3 §. 6). Bei dem gewichtigeren Körper ist zwar die bewegende Kraft (das Gewicht) stärker, aber in demselben Maasse ist auch die zu bewegende Masse grösser, daher bleibt die Beschleunigung unverändert (vgl. §. 96). Vermöge 5. §. 102 zeigt das Pendel, dass *die Stärke der Schwerkraft gegen die Pole hin wächst*, und dass sie *abnimmt wenn die Entfernung vom Erdmittelpunkte zunimmt* (vergl. 1. §. 6). Ein Pendel, welches in der Nähe einer grossen Masse z. B. eines Berges hängt, wird von der verticalen Lage abgelenkt, indem es gegen die Masse hingezogen wird. Dadurch ist ein neuer Beweis für die Anziehung der Massen gegeben. — Der französische Physiker Foucault hat 1851 mittelst des Pendels die Axendrehung der Erde nachgewiesen.

104. Bewegungshindernisse. In Folge der Trägheit sollte ein Körper einmal in Bewegung gesetzt beständig in dieser verharren; ebenso sollte es keiner weiteren Kraft bedürfen, um eine in Bewegung gesetzte Maschine im Gange zu erhalten. Nun gibt es aber gewisse Hindernisse, welche der Bewegung entgegenwirken, und daher den bewegten Körper allmählig zur Ruhe bringen, wenn nicht fortwährend eine bestimmte Kraft angewendet wird, durch welche die Bewegung unterhalten wird. *Die vorzüglichsten Bewegungshindernisse sind: Die Reibung und der Widerstand des Mittels.*

Die Reibung tritt dann auf, wenn ein Körper sich über einen andern hin bewegt, so dass immer der eine den andern berührt, und hat der Hauptsache nach *ihren Grund in den Unebenheiten, welche die Körperoberflächen selbst bei der sorgfältigsten Politur zeigen*. Wird ein Körper über einen anderen hin bewegt, so greifen nämlich die Erhabenheiten des einen in die Vertiefungen des andern ein; die Erhabenheiten müssen während der Bewegung losgerissen oder umgebogen, oder aus den Vertiefungen des andern Körpers herausgehoben

werden. Hiezu nun wird ein Theil der bewegenden Kraft verwendet, und dieser Krafttheil bestimmt die Grösse der Reibung. Man unterscheidet die *gleitende* von der *rollenden Reibung*; jene tritt auf, wenn ein Körper über einen andern weggeschoben wird; diese, wenn ein runder Körper über einen andern wegrollt. Die gleitende Reibung ist weit stärker als die rollende; im allgemeinen gelten folgende Gesetze:

1. *Die Reibung ist um so stärker, je grösser der Druck ist, welchen der eine Körper gegen den andern ausübt, und je rauher die sich berührenden Flächen sind.*

2. *Bei harten Körpern ist die Reibung bei sonst gleichem Drucke unabhängig von der Grösse der sich berührenden Flächen, hängt aber von der materiellen Beschaffenheit der Körper ab.*

3. *Bei harten Körpern hat die Geschwindigkeit, wenn diese nicht zu gross ist, keinen merklichen Einfluss auf die Reibung.*

Bei Hölzern ist die Reibung geringer, wenn sich die Fasern durchkreuzen als wenn sie parallel laufen; Feuchtigkeit erhöht die Reibung bei Hölzern, Hitze bei Metallen. Die Reibung zwischen gleichartigen Körpern ist grösser als jene zwischen ungleichartigen. Stahl reibt sich am wenigsten auf Zink, mehr auf Messing, noch mehr auf Blei, am meisten auf Zinn. — Zur Verminderung der Reibung werden Schmiermittel angewendet, indem diese die Unebenheiten an den Oberflächen ausgleichen. Für kleinere Maschinentheile aus Metall gebraucht man dünnflüssige Öle, für schwere Maschinentheile Seife oder eine Mischung von 4 Theilen Schweinfett und einem Theil Graphit. Talg wird verwendet, wenn Holz auf Holz, Wasser, wenn Metall auf Steinen sich reibt.

Wie nachtheilig die Reibung auch durch den Verlust, welchen sie an der bewegenden Kraft erzeugt, werden kann, so nützlich wird dieselbe in vielen Fällen. Ohne die Reibung am Boden würden wir kaum stehen und gehen können (bei Glatteis bestreuen wir den Boden mit Sand und Asche), würde kein Nagel haften bleiben. Die Reibung wird benutzt, um mittelst Seilen die Bewegung von einem Rade auf andere zu übertragen. Die Reibung zwischen den Rädern der Locomotive und den Schienen erzeugt die fortschreitende Bewegung der Locomotive und der mit ihr verbundenen Wägen; ist diese Reibung zu gering, so drehen sich die Räder bloss um ihre Axe ohne dass der Zug weiter geht. Anwendung des Hemmschuhes bei Wägen.

Die Körper bewegen sich immer in einem gewissen Stoffe, z. B. in der Luft, im Wasser. Dieser Stoff das *Mittel* oder *Medium* genannt, setzt insofern einen Widerstand entgegen, als der Körper, welcher sich in demselben bewegt, fortwährend Theile vor sich weg-schieben muss; diess kann der Körper nur auf Kosten seiner Geschwindigkeit thun. *Der hieraus entstehende Widerstand des Mittels wächst gerade so wie das Quadrat der Geschwindigkeit*, d. h. er wird 4-, 9-, 16mal stärker, wenn die Geschwindigkeit des Körpers 2-, 3-, 4mal grösser wird. Ferner wächst dieser Widerstand *mit der Dichte des Mittels*, mit der Grösse der Fläche, welche der Körper dem Mittel entgegengesetzt, *und hängt überhaupt von der Grösse und Gestalt des Körpers ab.*

Um den Widerstand des Mittels zu verringern, lässt man die Körper nach der Seite hin, nach welcher sie sich bewegen, schmal zulaufen; so z. B. bei Schiffen, bei den Linsen der Uhrpendel; ebenso kommt den Vögeln beim Fliegen, den Fischen beim Schwimmen der Körperbau sehr zu statten. Will man die

Bewegung eines Körpers z. B. eines Luftballons, der herabgelassen werden soll, verlangsamten, so wendet man Fallschirme u. dgl. an. — Der Widerstand des Mittels kommt uns beim Schwimmen, Rudern u. dgl. zu Gute.

VIII. WIRKUNGEN DER MOLEKULARKRÄFTE.

105. Molekularkräfte. Befestigt man einen Körper, z. B. ein Pfundgewicht an dem Ende einer Schnur, welche man am anderen Ende festhält, so fällt der Körper nicht zur Erde. Da nun alle Körper mithin auch die Schnur aus sehr kleinen Theilchen zusammengesetzt sind (vgl. §. 3), so kann die Ursache, durch welche das Pfundgewicht am Fallen gehindert wird, nur eine Kraft sein, welche zwischen den Theilchen der Schnur wirksam ist und den Zusammenhang der Schnurtheilchen aufrecht erhält. Das Pfundgewicht fällt, sobald die Schnur an irgend einer Stelle zerschnitten wird. Wir nehmen ferner einen Widerstand wahr, so oft wir einen Körper zu dehnen, oder seine Theilchen zu trennen suchen. Schneidet man einen Bleicylinder entzwei und drückt die Schnittflächen recht stark an einander, so kann der untere Theil von dem oberen selbst durch mehrere Pfunde nicht abgerissen werden. — Bekanntlich stellt sich auch ein Widerstand ein, wenn ein Körper zusammengedrückt wird, also wenn die Körpertheilchen einander näher gerückt werden; dieser Widerstand wird sogar mit der Volumverminderung des Körpers grösser. Beim Erwärmen dehnen sich die Körper aus, die Körpertheilchen entfernen sich also von einander.

Im Innern eines Körpers sind zweierlei Kräfte, nämlich Anziehungs- und Abstossungskräfte thätig; dieselben sind nur zwischen den Molekeln der Körper wirksam und heissen daher Molekularkräfte. Beide Arten von Kräften wirken nur auf unmessbar kleine Entfernungen hin, und unterscheiden sich dadurch von den fernwirkenden Kräften. Die Stärke dieser anziehenden und abstossenden Molekularkräfte ist übrigens bei verschiedenen Körpern sehr verschieden, und hängt bei demselben Körper von der Temperatur ab, indem eine Temperaturerhöhung auf die Anziehungskräfte schwächend, auf die Abstossungskräfte aber verstärkend wirkt. Durch das Verhältniß, in welchem die beiden Molekularkräfte rücksichtlich ihrer Stärke zu einander stehen, werden der Aggregatzustand (vgl. §. 3) und der Zusammenhang gleichartiger Körpertheilchen zu einem Ganzen, d. i. die Cohäsion bedingt. Die abstossenden Molekularkräfte überwiegen an der Oberfläche der tropfbaren Flüssigkeiten und erzeugen daselbst die stetige Verdunstung. Bei den gasförmigen Körpern hat die Abstossungskraft durchgehends das Übergewicht und wird die Ursache der Ausdehnbarkeit.

Welche fernwirkende Kräfte haben wir kennen gelernt?

106. Verschiedenheit der Cohäsion fester Körper. Während z. B. Eisen, Glas, Kiesel einen äusseren Eindruck nur schwer annehmen, geben Thon, Wachs, Baumwolle einer drückenden oder verschiebenden Kraft sehr leicht nach. Eine Leimtafel bricht schon, wenn sie nur wenig gebogen wird. Lässt man geschmolzenes Glas in kaltes Wasser tropfen, so erhält man einen Glastropfen, welcher in Pulver zerfällt, sobald seine Spitze abgebrochen wird. Kupferdraht, eine Weidengerte lassen sich stark biegen ohne zu zerbrechen. — Eisen, Silber, Gold u. s. w. lassen sich zu Draht ausstrecken. — Drückt man einen Kautschuckballon zusammen, so nimmt derselbe seine vorige Form wieder an, wenn der Druck zu wirken aufhört.

Feste Körper werden *hart* genannt, wenn sie einen äusseren Eindruck nur schwer annehmen; im Gegentheile heissen die Körper *weich*. Solche feste Körper, bei denen schon eine geringe Verschiebung ihrer Theilchen die Trennung der letzteren zur Folge hat, heissen *spröde*. Den spröden Körpern sind die *zähen* entgegengesetzt. Ebenso unterscheidet man *biegsame*, *streckbare* und *geschmeidige* (bildsame oder plastische) *Körper*.

Elastisch nennt man jene Körper, deren Theilchen nach einer Verschiebung vollständig oder wenigstens theilweise in die ursprüngliche Lage zurückkehren, sobald die verschiebende Kraft zu wirken aufhört. Das Bestreben der verschobenen Theilchen eines elastischen Körpers, ihre alte Lage wieder anzunehmen, wird *Elasticität* oder *Federkraft* (Schnellkraft, Rückstosskraft, Spannkraft) genannt. *Die Elasticität wächst mit der Grösse der Verschiebung, wenn diese eine gewisse Grenze nicht überschreitet.*

Nenne Körper, welchen die eine oder die andere der obigen Eigenschaften zukommt. Von zwei Körpern ist jener der härtere, welcher den anderen ritzt. Der Diamant ist der härteste Körper. Durch Hämmern, Walzen u. dgl., insbesondere aber durch den Einfluss der Wärme können die erwähnten Eigenschaften sehr geändert werden. Metalle werden durch Hämmern, durch Ausziehen zu Draht härter aber zugleich spröder; im glühenden Zustande lassen sie sich schmieden und zusammenschweissen. Durch starkes Erhitzen und plötzliches Abkühlen werden viele Körper sehr hart, aber auch sehr spröde; so der Stahl, das Glas. (Bologneser Fläschchen.) Hierauf beruht das Härten des Stahles. Damit der gehärtete Stahl einen Theil seiner Sprödigkeit verliere, wird er angelassen d. i. nochmals erhitzt und dann langsam abgekühlt. Damit das Glas nicht so spröde werde, lässt man es in sogenannten Kühlöfen langsam abkühlen. Der Härtegrad eines Körpers wird oft durch Beimengungen anderer Stoffe sehr geändert. So wird der Stahl durch eine geringe Menge von Silber härter; Gold wird mit Kupfer oder Silber legiert um ihm Härte zu geben.

Auch die Elasticität ändert sich durch äussere Einflüsse. Messing- und Silberstreifen werden durch mässiges Hämmern sehr elastisch; die Elasticität des Stahles wird durch rasches Abkühlen nach vorhergegangener Erhitzung erhöht. Bleibt ein elastischer Körper durch längere Zeit im gespannten Zustande, so wird seine Elasticität kleiner. — Anwendungen der Elasticität. Flachs, Wolle, Seide u. s. w. sind zu Kleiderstoffen geeignet, weil sie in Folge ihrer Elasticität den Bewegungen des Körpers nachgeben. Zerbrechliche Gegenstände werden in Heu, Baumwolle, Sägespäne u. dgl. verpackt; die Kästen der Wagen ruhen auf elastischen Federn, der Ambos ruht auf einem Holzblocke. Durch die Elasti-

cität werden also Stösse, Schläge abgeschwächt. — Die Elasticität der Metallfedern wird ferner zur Herstellung eines gleichmässigen Druckes, z. B. an Thürschlössern, an den Klappen der Blasinstrumente, auch als bewegende Kraft, z. B. bei Uhren, benutzt. Aus elastischen Metallfedern verfertigt man Federwagen und Kraftmesser (Dynamometer).

Eine Art von Federwagen besteht aus einer eiförmigen Stahlfeder a (Fig. 142), mit welcher ein Haken i verbunden ist, um den abzuwägenden Körper A anhängen zu können. In Folge des von A ausgeübten Zuges bewegt das mit der Stahlfeder verbundene Stäbchen c den um o drehbaren Zeiger z , bis derselbe bei einem Theilstriche der Scala stehen bleibt. Die bei dem Theilstriche stehende Zahl gibt das Gewicht von A an. Die Scala wird durch Anhängen von bekannten Gewichten und durch Notierung des jeweiligen Zeigerstandes auf dem mit der Stahl-

Fig. 142.

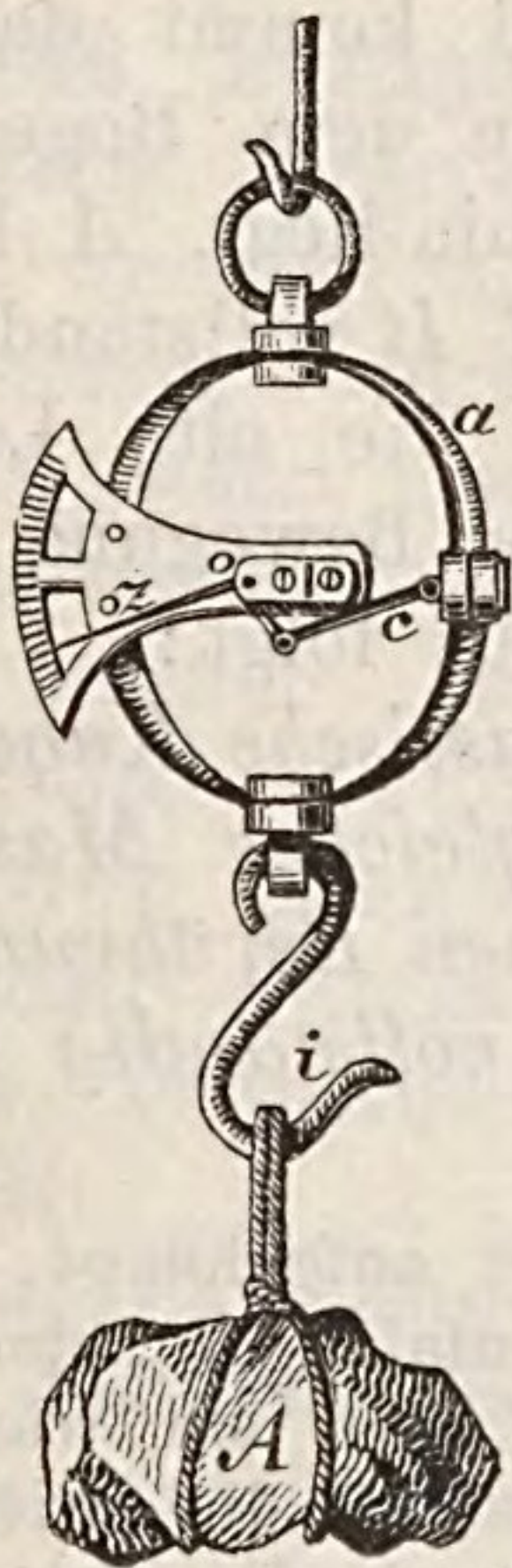
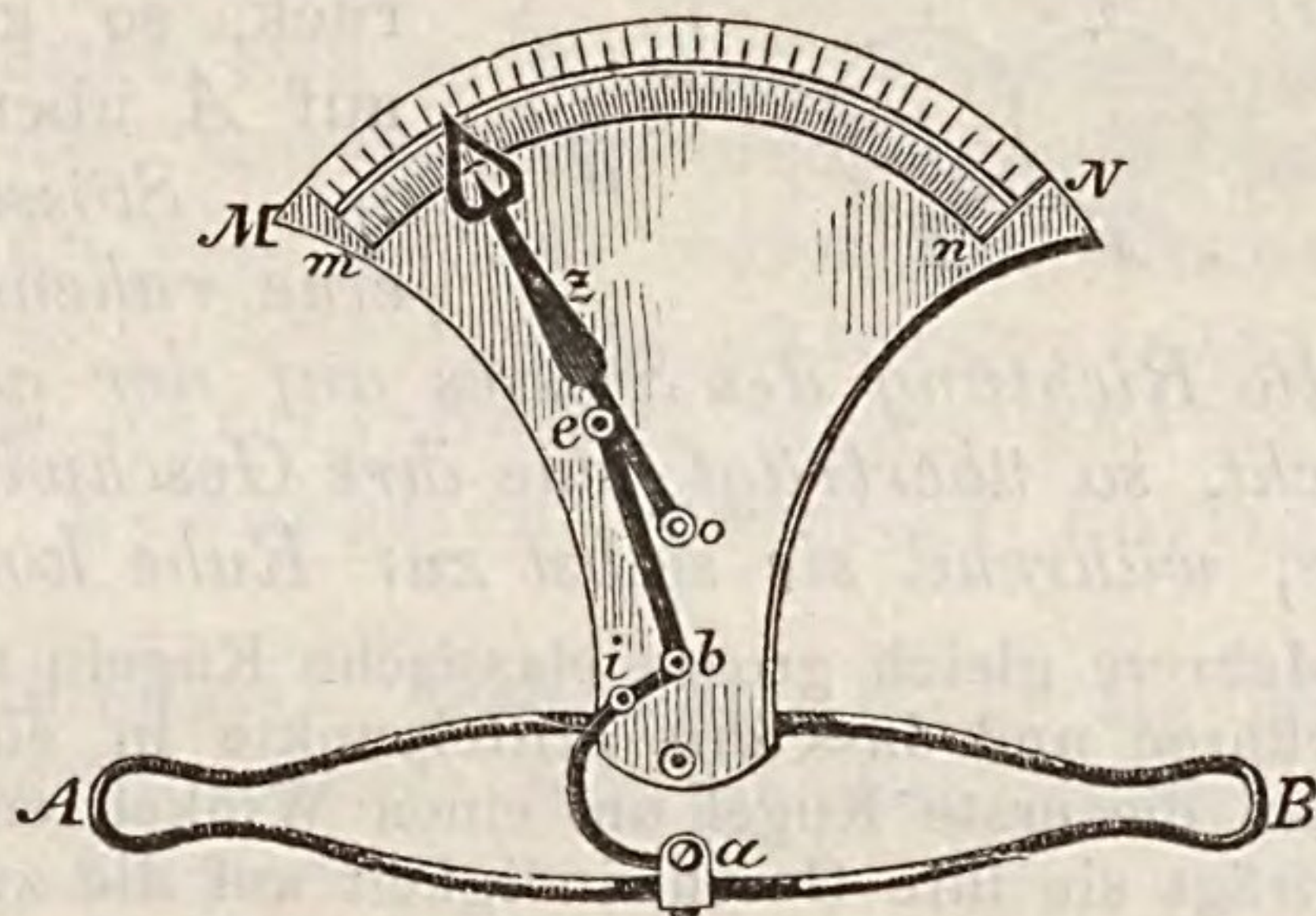


Fig 143.



feder verbundenen Kreisbogen angefertigt. Der Kraftmesser von Regnier besteht ebenfalls aus einem elastischen Stahlbiegel AB (Fig. 143), mit welchem der um b drehbare Winkelhebel $aibe$ verbunden ist. Durch diesen Hebel wird der um o drehbare Zeiger z bewegt, wenn AB entweder in der Richtung ba zusammengedrückt oder der Länge AB nach ausgezogen wird. Die Theilpunkte der Scala werden durch Versuche wie bei der Federwage bestimmt. Die obere Scala MN gilt für Druckkräfte, die untere Scala mn für Zugkräfte. Warum werden die Angaben der Zeigerwage und des Kraftmessers mit der Zeit ungenau?

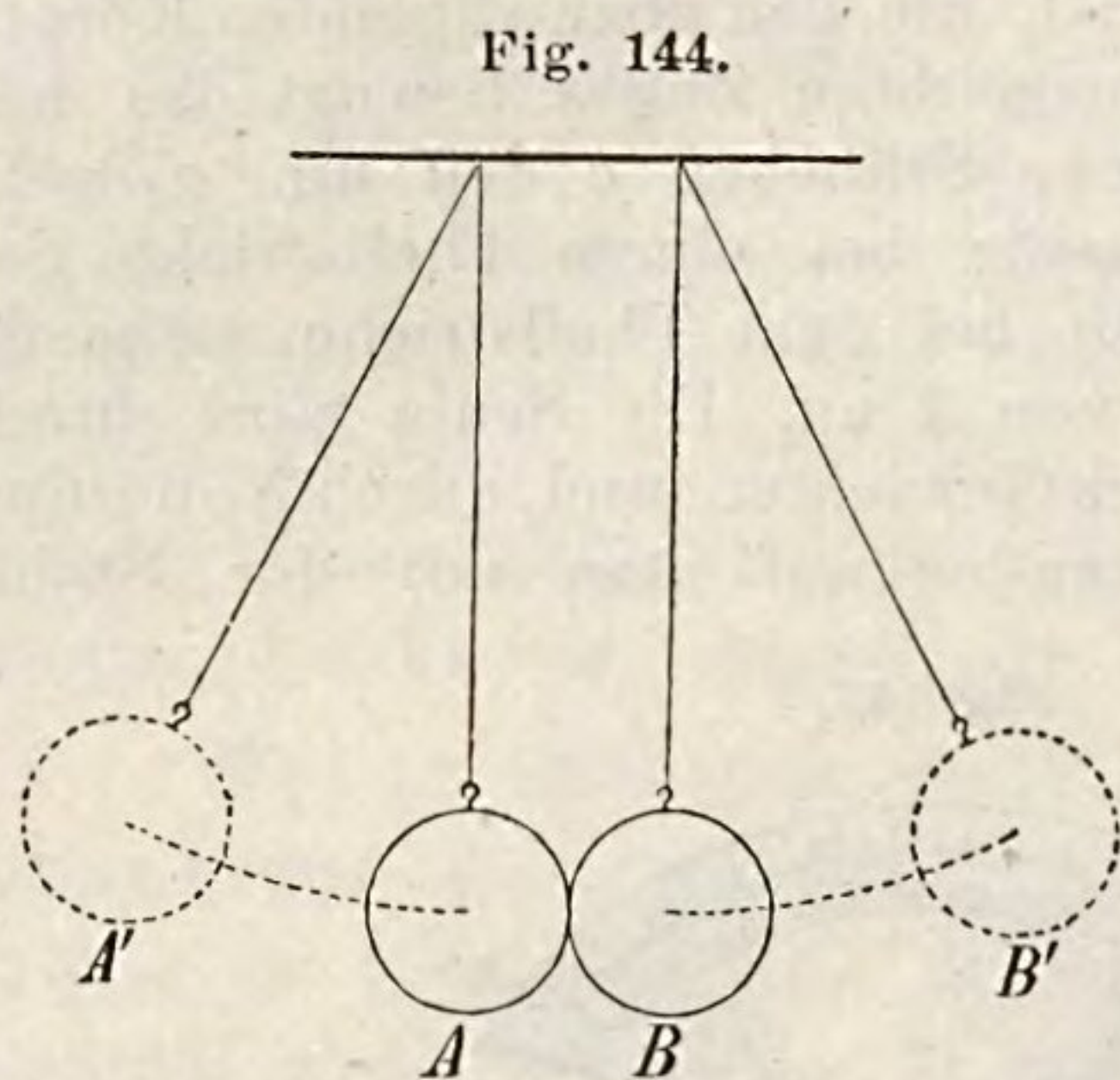
107. Stoss fester Körper. Trifft ein in Bewegung befindlicher Körper mit einem anderen zusammen, so übt jener in Folge seines Bestrebens in Bewegung zu verharren, auf den zweiten Körper einen Druck aus; der zweite Körper aber wirkt wegen seiner Trägheit auch auf den ersten zurück. Diese gegenseitige Einwirkung zweier zusammentreffender Körper heisst *Stoss*.

Stossen zwei unelastische Körper, welche sich in derselben Richtung bewegen, so aneinander, dass die Richtung des Stosses durch die Schwerpunkte der Körper geht, so wirken dieselben so lange aufeinander ein, bis beide Körper gleiche Geschwindigkeit besitzen. Die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stosse hängt von den Massen und von den Geschwindigkeiten ab, welche die Körper vor dem Stosse besaßen.

Hatten die Körper ursprünglich entgegengesetzte Richtungen, so bewegen sich dieselben nach dem Stosse in der Richtung jenes Körpers, welchem die grössere bewegende Kraft innewohnt, welcher also z. B. die grössere Masse und Geschwindigkeit besitzt.

Wann nur werden zwei in derselben Richtung sich bewegende Körper zusammentreffen?

Versuch a). Zwei gleich grosse elastische Kugeln A, B (Fig. 144), aus Elfenbein z. B., seien so aufgehängt, dass sie sich berühren und dass ihre Mittelpunkte in derselben horizontalen liegen. Hebt



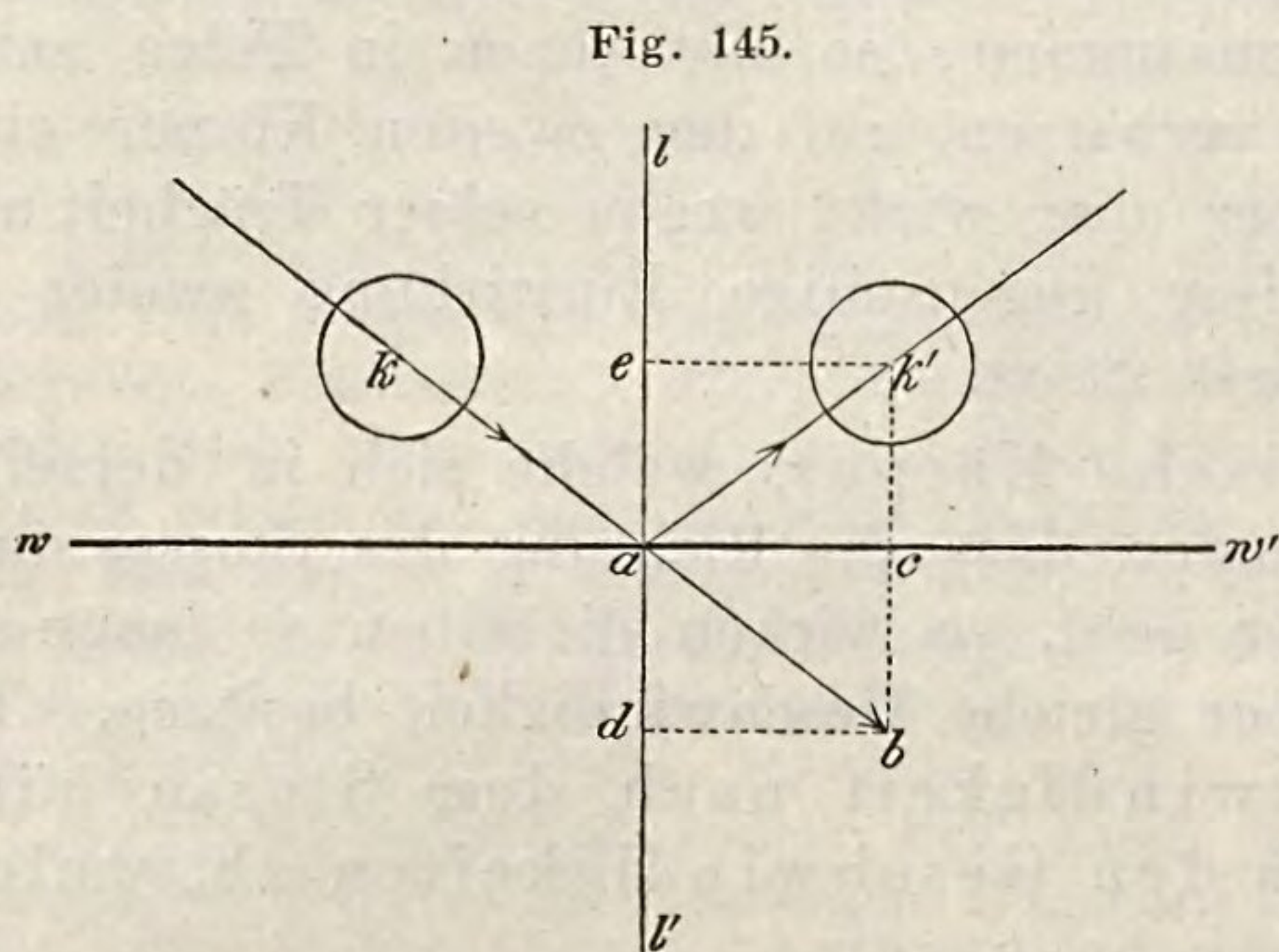
man die Kugel A nach A' empor und lässt sie wieder aus, so bewegt sie sich im Bogen $A'A$ gegen die alte Lage hin, stösst gegen B und kommt dabei zur Ruhe, während B in dem Bogen $BB' = AA'$ gegen B' hinfliegt. A hat also seine Bewegung auf B vollständig übertragen. Fällt B in die alte Lage zurück, so geht seine Bewegung wieder auf A über. Hieraus folgt:

Stösst eine elastische Kugel gegen eine ruhende von gleicher Masse und steht die Richtung des Stosses auf der gemeinsamen Berührungsebene senkrecht, so überträgt jene ihre Geschwindigkeit vollständig auf die letztere, während sie selbst zur Ruhe kommt.

Mehrere gleich grosse elastische Kugeln seien derart aufgehängt, dass sie sich berühren und dass ihre Mittelpunkte in einer horizontalen Geraden liegen. Hebt man die erste Kugel um einen Winkel empor und lässt sie wieder aus, so überträgt sie ihre Geschwindigkeit auf die zweite, diese auf die dritte Kugel u. s. w., so dass die letzte Kugel ebenso hoch empor fliegt wie die erste gehoben worden war, während alle andern in Ruhe sind.

Versuch b). Man lasse eine elastische Kugel senkrecht gegen eine feste Wand fallen; die Kugel fliegt wieder senkrecht zurück. Indem die Kugel auffällt, wird sie zusammengedrückt, bis sie ihre Geschwindigkeit nach abwärts verloren hat. Hört aber der Druck auf, so dehnt sie sich in Folge ihrer Elasticität wieder aus und erhält ihre frühere Geschwindigkeit, jedoch nach gerade entgegengesetzter Richtung.

Versuch c). Man lasse eine elastische Kugel k (Fig. 145)



gegen die feste Wand ww' in der Richtung ka auffallen; die Kugel fliegt in der Richtung ak' zurück, so zwar dass, wenn $ll' \perp ww'$, der Winkel $kal = lak'$ ist. Man sagt die Kugel sei zurückgeworfen oder reflectiert worden und nennt die ll' das Einfallslot, den Winkel kal den Einfallswinkel

und den Winkel lak' den Reflexionswinkel.

Eine auf eine feste Wand auffallende elastische Kugel wird auf die entgegengesetzte Seite des Einfallslotes so reflectiert, dass der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist.

Ist ab (Fig. 145) die Kraft, mit welcher die Kugel aufliegt, so kann man dieselbe zerlegen in die Componente ac und die Componente $ad \perp ww'$. Es verhält sich also die Sache so, als wäre die Kugel mit der Kraft ad senkrecht gegen ww' geworfen und zugleich mit der Kraft ac seitlich bewegt worden. Da aber nach Versuch b) eine senkrecht aufgeworfene elastische Kugel mit ihrer vollen Kraft nach gerade entgegengesetzter Richtung zurückprallt, so wirken nach dem Auffallen die Kräfte $ae = ad$ und ac auf die Kugel ein. Diese geben zusammengesetzt die Mittelkraft ak' . Da $\triangle adb \cong \triangle aek'$ so ist $l\hat{a}k' = d\hat{a}b$ und somit wegen $d\hat{a}b = k\hat{a}e$ auch $k\hat{a}e = e\hat{a}k'$; d. h. der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.

108. Festigkeit. Die festen Körper setzen bekanntlich beim Zerreißen, Zerdrücken, Zerbrechen, Zerdrehen einen Widerstand entgegen, welcher nicht nur bei verschiedenen Körpern verschieden gross ist, sondern auch nicht selten bei einem und demselben Körper ungleich ausfällt, wenn man die Theilchen desselben in verschiedener Richtung zu trennen versucht. So lassen sich z. B. Holz, Fischbein der Länge nach leichter spalten als der Quere nach brechen und zerreißen. Der Widerstand, welchen ein Körper vermöge seiner Cohäsion der Trennung seiner Theilchen entgegensetzt, wird *Festigkeit* genannt. Man unterscheidet nach der verschiedenen Trennungsweise gewöhnlich viererlei Festigkeiten, nämlich:

a) Die Zug- (oder absolute) Festigkeit, d. i. die Festigkeit gegen das Zerreißen. Dieselbe *wächst* bei gleicher Materie gerade *so wie der Querschnitt des Körpers*.

Um einen Körper rücksichtlich seiner Zugfestigkeit zu prüfen gibt man ihm die Form eines Stabes mit kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitte, befestigt ein Ende desselben z. B. in einer Mauer und hängt an das andere Ende so lange, aber nur allmähig Gewichte, bis er reisst. Das kleinste hiezu erforderliche Gewicht mit Einschluss des Gewichtes von dem abgerissenen Stücke des Stabes ist das Maass der Zugfestigkeit. Wird z. B. ein Stab von 1 □" Querschnitt durch den Zug von 1024 Pfd. zerrissen, so ist die Zugfestigkeit eines Stabes aus demselben Stoffe und von 3 □" Querschnitt $1024 \times 3 = 3072$ Pfd. Der Sicherheit wegen nimmt man im gewerblichen Leben bei Metallen $\frac{1}{6}$, bei Hölzern $\frac{1}{10}$, bei Seilen $\frac{1}{2}$ der durch Versuche ermittelten Zugfestigkeit. Nach der Zugfestigkeit ordnen sich die Metalle in aufsteigender Reihe: Blei, Zinn, Zink, Gold, Silber, Platin, Kupfer, Eisen, Gussstahl, Stahldraht; die Hölzer: Fichte, Tanne, Linde, Eiche, Buche. Bei Hölzern ist die Zugfestigkeit in der Richtung der Fasern grösser und hängt vom Alter ab; auch haben Äste, Stamm und Wurzeln desselben Baumes verschiedene Festigkeit. Geflochtene Stricke sind fester als gedrehte; auch sind nasse Hanfseile schwächer als trockene. Ein Seidenfaden ist nahezu dreimal fester als ein Leinenfaden.

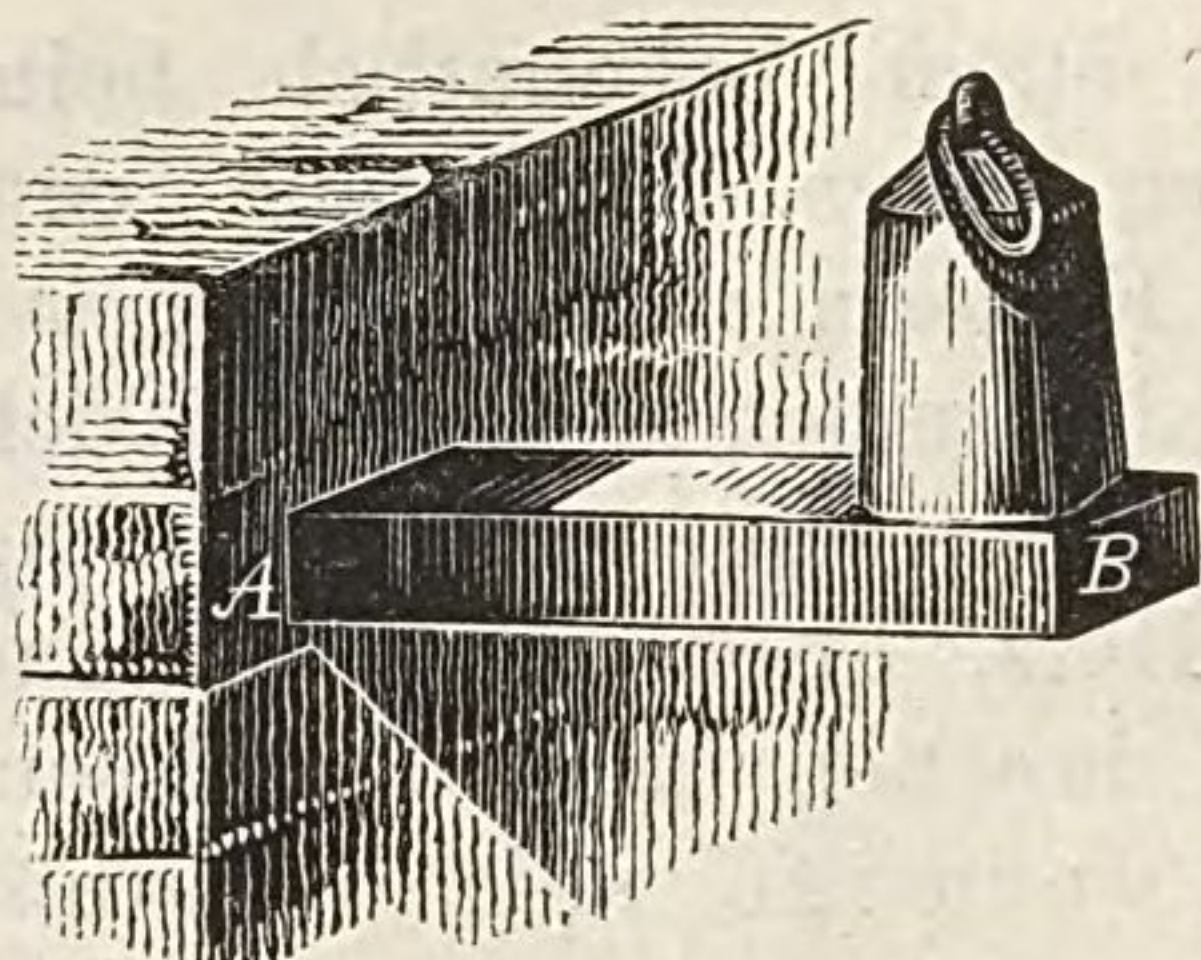
b) Die Druck- oder rückwirkende Festigkeit, d. i. die Festigkeit gegen das Zerdrücken. Dieselbe *wächst gerade so wie der Querschnitt des Körpers*.

Die Druckfestigkeit wird geprüft, indem man säulenförmige Stücke oben gleichmässig bis zum Zerdrücken mit Gewichten beschwert. Bei gleichem Querschnitte und demselben Stoffe ist die Druckfestigkeit am grössten, wenn der Querschnitt ein Kreis ist; auch fällt sie um so grösser aus, je weniger die Höhe der Säule vom Durchmesser abweicht. Diese Festigkeit kommt insbesondere bei Bausteinen in Betracht; dieselben ordnen sich in absteigender Reihe: Porphyry, Basalt, Gneiss, Granit, Marmor, Kalkstein, Sandstein, Backstein. — Von den Metallen ist das Gusseisen zum Tragen vorzüglich geeignet und übertrifft hierin die festesten Steine. In der Anwendung wird bei Steinen und Hölzern $\frac{1}{10}$, bei Gusseisen $\frac{1}{5}$ der gefundenen Druckfestigkeit genommen.

c) Die *Bruch-* (oder relative) *Festigkeit*, d. i. die Festigkeit gegen das Zerbrechen. Dieselbe *wächst gerade so wie die Breite des balkenförmigen Körpers, wird aber 4, 9, 16mal grösser, wenn die Höhe 2, 3, 4mal grösser wird; dagegen nimmt sie um das 2, 3, 4fache ab, wenn der Körper 2, 3, 4mal länger wird.*

Die Bruchfestigkeit wird ermittelt, indem man den balkenförmigen Körper an dem einen Ende *A* (Fig. 146) einmauert und nahe dem anderen Ende *B* so viel Gewichte allmählig auflegt, bis er bei *A* abbricht.

Fig. 146.



Das kleinste Gewicht, durch welches der Balken abgebrochen wird, ist das Maass der Bruchfestigkeit. Man kann den Balken auch an beiden Enden unterstützen und ihn in der Mitte bis zum Brechen belasten. Ist die Last in letzterem Falle über den ganzen Balken gleichmässig vertheilt, so ist die Tragkraft des Balkens zweimal grösser als wenn die Last nur in der Mitte aufgelegt ist, und 8mal grösser als in dem Falle, wo der Balken nur an einem Ende unterstützt und am anderen Ende belastet ist. — Hohle Körper besitzen eine grössere Bruchfestigkeit als massive von derselben

Masse. Die Pflanzenstängel und Knochen sind hohl; hohle Säulen. — Warum bricht ein langer Steg leichter als ein kurzer bei gleicher Dicke und Breite? Warum wird eine längere Bank mehrfach unterstützt? (Brückenjoche, Schüttboden, Balkone u. s. w.). Führe Beispiele für die einzelnen Festigkeiten an.

d) Die *Zerdrehungs-* (Torsions-) *Festigkeit*, d. i. die Festigkeit gegen das Zerdrehen.

Die Zerdrehungsfestigkeit muss bei Bohrstangen, Wellen berücksichtigt werden, sie hängt ebenfalls von der Form und dem Materiale ab und ist bei hohlen Walzen unter sonst gleichen Umständen grösser als bei massiven von demselben Gewichte und Stoffe. — Die Temperaturerhöhung wirkt auf die Festigkeit der Körper schwächend ein.

109. Adhäsion. Streut man Kreide-, Colophoniumpulver o. dgl. auf eine Glastafel, so bleibt ein Theil des Pulvers an derselben haften, selbst wenn die bestreute Fläche nach abwärts gekehrt wird. Ebenso bleibt der Staub an den Zimmerwänden hängen, obgleich er vermöge seiner Schwere zur Erde fallen sollte. Taucht man den Finger oder ein Glasstäbchen in Wasser, Weingeist ein, so hängt sich Wasser an.

Versuch. Eine Krämerwage sei mit einer Wagschale versehen, welche an kürzeren Schnüren hängt und unten ein Häkchen hat. Man hänge an dieses Häkchen eine wohl polierte Messing- oder Glasplatte, setze die Wage ins Gleichgewicht und bringe die untere Fläche der Platte mit einer Quecksilberoberfläche so in Berührung, dass der Wagebalken horizontal bleibt, und keine Luftblasen zwischen Platte und Quecksilber sich befinden. Die Platte haftet am Quecksilber fest an; indem man in die andere Schale langsam kleine Gewichtchen zulegt, kann man die Kraft ermitteln, welche zum Abreissen der Platte vom Quecksilber nothwendig ist. — Wendet man statt Quecksilber Wasser an, so findet man die Platte nach dem Abreissen mit einer Wasserschichte bedeckt; hier gibt das zum Abreissen der Platte erforderliche Gewicht die Kraft an, welche nothwendig ist, um eine Wasserschichte von einer andern zu trennen.

Das Anhaften zweier verschiedenen Körper bei hinlänglicher Flächenberührung nennt man *Flächenanziehung* oder *Adhäsion*. Die Ursache hievon ist die zwischen den sich berührenden Körpertheilchen thätige Anziehungskraft; je inniger sich daher zwei Körper berühren, desto stärker wird die Adhäsion werden. Demnach wird die Flächenanziehung durch Druck, durch die Grösse, Reinheit und Glätte der Berührungsflächen verstärkt, durch Temperaturerhöhung aber geschwächt. Zwischen festen Körpern ist die Adhäsion schwächer als zwischen festen und flüssigen Körpern. Zwischen festen und flüssigen Körpern ist die Adhäsion oft grösser als der Zusammenhang oder die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen, so dass die Flüssigkeit auf dem festen Körper zerfliesst, d. h. ihn benetzt.

Auf der Adhäsion beruht das Schreiben, Malen, Vergolden, das Belegen des Spiegelglases mit Zinnamalgam, u. s. w. Die selbst an gut polierten Körpern vorkommenden Unebenheiten werden durch ein flüssiges Bindemittel ausgeglichen, welches an den zu verbindenden Körpern adhärirt und durch Trocknen oder Erkalten in den festen Zustand übergeht. Diess geschieht z. B. beim Leimen, Kitten, Löthen, beim Mauern. Glas wird vom Wasser und Weingeist, aber nicht vom Quecksilber benetzt. Gold, Silber, Blei werden vom Quecksilber benetzt, Eisen nicht. Öl zerfliesst auf Wasser. Warum rinnt Wasser beim Ausgiessen an der äusseren Gefässwand herab? Durch den Ausgusschnabel wird die Berührungsfläche zwischen Wasser und Gefässrand verkleinert. Die Adhäsion wird auch durch einen Zwischenkörper z. B. durch Öl vermindert; so wird eine fettige oder bestaubte Glastafel vom Wasser nicht mehr benetzt. Die Federn der Schwimmvögel sind durch einen öligen Überzug vor dem Nasswerden geschützt, die Knospen der Bäume, z. B. der Rosskastanie durch ein fettiges Harz gegen das Eindringen des Regens gesichert.

110. Capillarität. Versuch *a*). Stellt man eine gut gereinigte Glasplatte in Wasser, eine andere in Quecksilber, so erscheint das Wasser an der Glasplatte etwas in die Höhe gezogen, das Quecksilber hingegen etwas gesenkt. Tauche ein gut gereinigtes Glasstäbchen nacheinander in Wasser und Quecksilber. Mache das Glasstäbchen etwas fett und tauche es wieder in Wasser ein. — Da die Adhäsion des Wassers zum Glase stärker als seine Cohäsion ist, so werden die in der Nähe des Glases befindlichen Wassertröpfchen am Glase hinaufgezogen und zerfliessen. Das Quecksilber hat aber eine stärkere Cohäsion, daher behalten die am Glase anliegenden Theilchen ihre Kugelgestalt bei.

Versuch *b*). Stellt man eine weite Glasröhre ins Wasser, so erscheint dieses in der Röhre an den Wänden ringsherum etwas gehoben, während es in der Mitte so hoch wie ausserhalb der Röhre steht; die Oberfläche des Wassers ist in der Röhre hohl oder concav. Ist die Röhre sehr eng, ein sogenanntes Haarröhrchen, so steht das Wasser im Röhrchen bis *e* (Fig. 147) erhoben, während es aussen die Oberfläche *a b c d* bildet; die Oberfläche im Röhrchen ist concav. — Wendet man statt des Wassers Quecksilber an, so ist

Fig. 147.

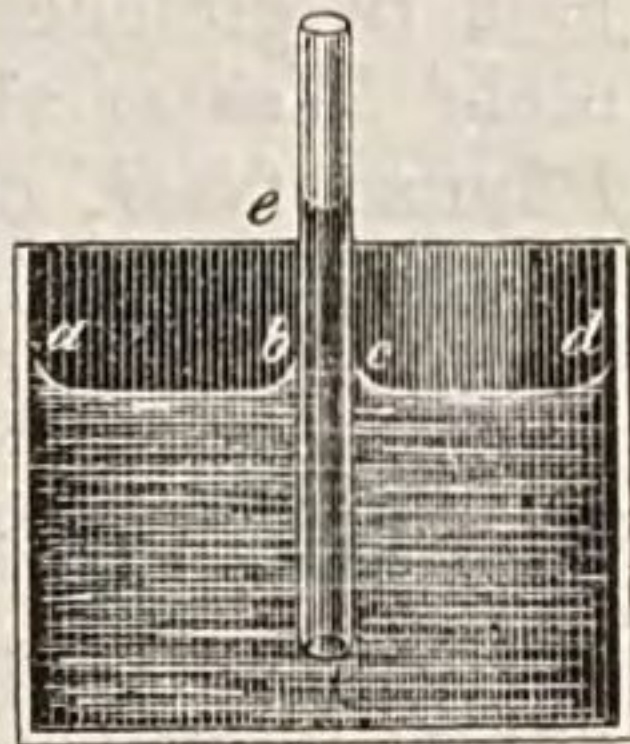
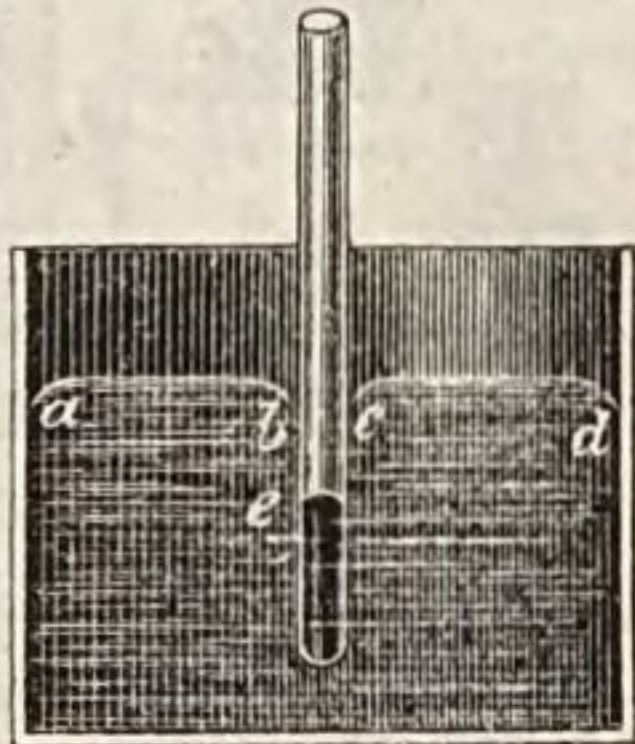


Fig. 148.



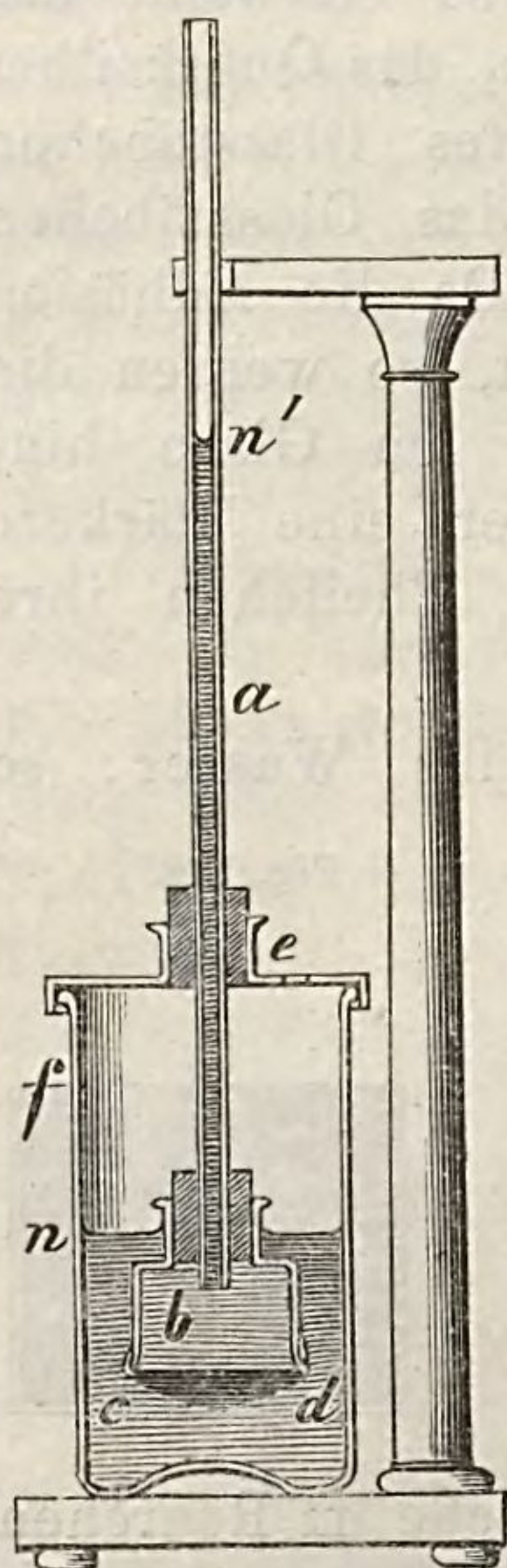
die Oberfläche erhaben oder convex und das Quecksilber steht im Röhrchen bis *e* (Fig. 148) unter die äussere Oberfläche *a b c d* herabgedrückt. Wende Röhrchen von verschiedenem Durchmesser an.

Wird ein Haarröhrchen von einer Flüssigkeit benetzt, so bildet diese in jenem eine concave Oberfläche und erhebt sich über die äussere Flüssigkeitsoberfläche um so stärker, je enger das Röhrchen ist. Findet aber keine Benetzung statt, so ist die Oberfläche im Haarröhrchen convex und die Flüssigkeit erscheint im Röhrchen um so tiefer unter die äussere Oberfläche herabgedrückt, je kleiner der Durchmesser des Röhrchens ist. Man nennt diese Erscheinungen Capillaritätsercheinungen oder auch Haarröhrchenwirkungen.

In porösen Körpern bilden die in Verbindung stehenden Poren Haarröhrchen. Wird daher ein solcher Körper in eine Flüssigkeit getaucht, welche ihn benetzt, so muss er sich wie ein Bündel von Haarröhrchen, die ins Wasser getaucht sind, verhalten; Zucker, Löschpapier, Holz, Sandstein saugen daher Wasser u. dgl. auf und werden von diesen oft vollständig durchdrungen und gelöst. Thon saugt Fett auf, wesshalb er zum Ausbringen von Fettflecken benützt wird. Viele Körper quellen benetzt auf. So dehnt sich auch das Papier, wenn es mit Wasser angefeuchtet wird, nach allen Seiten aus. Aufspannen des Papiere; Anquellen der Thüren und Fenster bei Regenwetter. Steine werden durch hölzerne Keile gesprengt, die man in Spalten eintreibt und mit Wasser begiesst. Gespannte Stricke und Saiten werden dicker und kürzer, wenn sie nass gemacht werden, weil die gedrehten Fasern aufquellen. Zeuge, Filz, Leder werden durch Tränken mit Ölfirnis, Wachs, Kautschuk wasserdicht gemacht.

Gasförmige Körper dringen in die Poren anderer Körper ein und werden hier festgehalten. Man sagt das Gas sei vom Körper verschluckt oder absorbiert worden. *Die Menge des von einem Körper*

Fig. 149.



absorbierten Gases hängt von der materiellen Beschaffenheit des Gases ab und ist bei demselben Gase um so grösser, je grösser der Druck ist welcher auf dasselbe ausgeübt wird, und je niedriger die Temperatur des absorbierenden Körpers ist. Dabei wird der gasförmige Körper oft bis zum Tropfbarwerden verdichtet.

Legt man z. B. Zucker in Wasser, so dringen Luftblasen aus seinen Poren, weil das Wasser vom Zucker stärker angezogen wird als Luft. Chlorcalcium zerfliesst in feuchter Luft, weil es die Wasserdünste stark verschluckt und tropfbar macht. Erwärmt man kaltes Wasser, so steigen ebenfalls Luftblasen auf. Thierische und Pflanzen-Häute saugen ebenfalls Luftarten und Flüssigkeiten auf, jedoch nicht jede in gleicher Menge. So absorbiert z. B. Ochsenblase mehr Wasser als Kochsalzlösung. Die Kohle, die verwesende Pflanzenfaser, der Humus in der Ackererde absorbieren Gase und Flüssigkeiten in sehr grosser Menge, wesshalb der Humus für die Ernährung der Pflanzen von sehr grosser Wichtigkeit ist. Die Kohle, insbesondere die Knochenkohle wird zum Filtrieren, zum Entfärben von Flüssigkeiten, z. B. des Zuckersyrups angewendet; auch wird sie zur Aufsaugung übelriechender Dämpfe und gesundheitsschädlicher Gase z. B. der Kohlensäure benützt. Die Kohle verdichtet das absorbierte Gas oft so stark, dass sie sich in Folge der dabei entwickelten Wärme entzündet.

Versuch c). Man sprengt einer Flasche *b* (Fig. 149) den Boden aus, verschliesse die entstandene Öffnung mit einer Blase *cd*, giesse Kupfervitriollösung hinein und befestige im Halse eine Röhre *a*. Setzt man die Flasche in ein mit Wasser gefülltes Gefäss *f*, und lässt das Ganze längere Zeit stehen, so sieht man, dass die Kupfervitriollösung in der Röhre bedeutend, z. B. bis *n'* gestiegen, und dass das Wasser durch Kupfervitriollösung gefärbt worden ist. Schliesslich ist die Flüssigkeit in beiden Gefässen von gleicher Beschaffenheit. Giesse in das Gefäss *b* Wasser und in das Gefäss *f* Kupfervitriollösung; wende Wasser und Weingeist, Wasser und Zuckerlösung an.

Werden zwei verschiedenartige Flüssigkeiten durch eine thierische oder eine Pflanzenhaut getrennt, so dringt die eine Flüssigkeit durch die Haut zur andern über und zwar in um so stärkerem Maasse, je stärker die Flüssigkeit von der Haut angezogen wird. Dabei findet in den Poren der Haut eine Mischung der Flüssigkeiten statt. Man nennt diesen Vorgang Endosmose.

Die Endosmose wurde zuerst von Dutrochet untersucht; sie spielt im Ernährungsprocesse der Pflanzen und Thiere eine sehr wichtige Rolle, indem sie die Bewegung der Säfte im Pflanzen- und Thierkörper vermitteln hilft.

111. Krystallisation. Versuch a). Lässt man eine gesättigte Kochsalzlösung in einer flachen Schale an einem mässig warmen Orte ruhig stehen, so verdunstet das Wasser allmählig, das Salz wird wieder fest und nimmt dabei die Form von Würfeln an.

Versuch b). Löst man etwa 4 Loth Salpeter in 2 Loth siedendem Wasser auf, lässt die Lösung langsam abkühlen, so scheidet sich Salpeter in sechsseitigen Säulen aus, weil das kalte Wasser weniger Salpeter als das siedende Wasser lösen kann.

Versuch c). Schmilzt man in einem Topfe Schwefel und lässt ihn wieder abkühlen, so überzieht er sich mit einer festen Haut; durchsticht man diese Haut und giesst durch die Öffnung den noch flüssigen Schwefel aus, so bilden sich unter der Haut beim Erkalten zahllose Nadeln.

Die Anziehung, welche die Körpertheilchen auf einander ausüben, ist Ursache, dass die Theilchen eines Körpers beim Übergange desselben aus dem flüssigen in den festen Zustand sich häufig zu regelmässigen, von ebenen Flächen begrenzten Körperformen, d. i. zu Krystallen verbinden. Den hiebei stattfindenden Vorgang nennt man Krystallisation.

Damit ein Körper krystallisiere, muss er vorher flüssig gemacht werden, indem dann seine Theilchen den anziehenden Molekularkräften leichter folgen können; der Körper muss also aufgelöst oder geschmolzen werden. Auf diese Weise haben sich auch die in der Natur vorkommenden Krystalle gebildet. Auch das Wasser krystallisiert beim Gefrieren und bildet dabei feine Nadeln, die sich unter Winkeln von 60° oder 30° an einander legen, wie man diess an den gefrorenen Fensterscheiben und insbesondere an den Schneeflocken sehen kann. — Die Krystalle legen sich gerne an feste Körper an; daher bilden sich die ersten Krystalle an den Wänden oder am Boden des Gefässes. Ebenso wird die Krystallisation begünstigt, wenn man einen fertigen Krystall in die Lösung legt. Oft wird die Krystallisation durch eine schwache Erschütterung eingeleitet; anhaltende Erschütterungen hindern jedoch die Bildung grosser, schöner Krystalle. Beim Kandis-

zucker befördert man die Krystallisation durch Einführen von Fäden in die Lösung; beim Hutzucker hindert man die Bildung grosser Krystalle durch Umrühren. Hutzucker zeigt ein körniges Gefüge, ebenso auch Marmor, Gusseisen; man nennt solche Körper krystallinisch, weil sie aus sehr kleinen Krystallen bestehen. Ein derlei Gefüge erhalten die Körper mitunter durch anhaltende Erschütterungen; so werden die aus Schmiedeeisen bestehenden Axen der Wagen mit der Zeit so krystallinisch wie Gusseisen und deshalb auch spröder und zerbrechlicher. — Durch Lösen und Krystallisation können Körper von den ihnen beigemengten Stoffen befreit werden, wie diess z. B. bei der Salzsiederei geschieht. — Im krystallisierten Zustande zeigen die Körper oft ganz andere Eigenschaften als im amorphen (gestaltlos) Zustande. Die Krystalle haben oft grössere Härte und Sprödigkeit, andere Farbe und einen anderen Schmelzpunkt als die amorphen Körper; auch lassen sie sich nach gewissen Richtungen leicht spalten. Welch' grosser Unterschied besteht z. B. zwischen dem Diamant und der Kohle, dem Saphir und der Thonerde.

Manche feste Körper z. B. Jod, Kampher nehmen sehr leicht durch mässige Erwärmung den gasförmigen Zustand an. Durch Abkühlung werden sie wieder fest und krystallisieren dabei; dieser Vorgang heisst Sublimation. — Man nennt die Krystallisation der Körper mittelst Auflösungen Krystallisation auf nassem Wege, während die Krystallbildung durch Erkalten nach vorhergegangener Schmelzung oder Verflüchtigung der Körper Krystallisation auf trockenem Wege genannt wird.

IX. VON DEN TROPFBAR FLÜSSIGEN KÖRPERN.

112. Charakteristische Eigenschaften der tropfbaren Flüssigkeiten. Ähnlich wie bei den festen Körpern sind auch zwischen den Theilchen tropfbar flüssiger Körper molekulare Anziehungs- und Abstossungskräfte wirksam. Die ersteren äussern sich in der *Tropfenbildung* und in dem stärkeren Zusammenhange, welchen die Flüssigkeiten an ihrer freien Oberfläche zeigen. Eine Nadel bleibt z. B. auf einer ruhigen Wasserfläche liegen, wenn man sie vorsichtig darauf legt. Die Abstossungskräfte machen sich nebstdem, dass sie an der freien Oberfläche eine stetige Verdunstung erzeugen, sogleich bemerkbar, wenn man es versucht eine Flüssigkeit zusammen zu pressen. Selbst bei Anwendung sehr grosser Druckkräfte lässt sich das Volumen tropfbar flüssiger Körper fast unmerklich verkleinern, so dass man *die Flüssigkeiten* für gewöhnlich als *unzusammendrückbar* ansehen kann. Im Übrigen herrschen die Abstossungskräfte nicht in dem Maasse wie bei den luftförmigen Körpern vor, und werden im Innern der Flüssigkeit von den Anziehungskräften nahezu im Gleichgewichte gehalten. Aus dem letzteren Grunde sind *die Flüssigkeitstheilchen* nach allen Richtungen *frei beweglich*, so dass sie schon durch die geringste Kraft aus ihrer Ruhelage verschoben werden. Dieser äusserst grossen Verschiebbarkeit der Theilchen tropfbar flüssiger Körper ist es auch zuzuschreiben, dass *die Flüssigkeiten* in grösserer Menge *keine selbständige Gestalt* besitzen, sondern die Form des Gefässes annehmen, in welchem sie sich befinden. Nebstdem

sind die Flüssigkeiten der Einwirkung *der Schwerkraft unterworfen*, so dass jeder noch so kleine Theil eines flüssigen Körpers einen Druck auf die Unterlage ausübt.

Aus diesen Eigenschaften sollen im folgenden die wichtigsten Gesetze für das Gleichgewicht der tropfbar flüssigen Körper abgeleitet werden. Man pflegt den Inbegriff dieser Gesetze *Hydrostatik* (Hydor = Wasser) zu nennen, weil man bei deren Ermittlung in der Regel das Wasser als den allgemeinen Repräsentanten der Flüssigkeiten betrachtet.

113. Gleichmässige Fortpflanzung des Druckes. Versuch a). Das Gefäss *A* (Fig. 150) sei mit Thon vollständig ausgefüllt; auf den Stempel *a* werde nach abwärts gedrückt. In Folge dieses Druckes wird der gleich grosse Stempel *c* nach abwärts bewegt, so als wenn

Fig. 150.

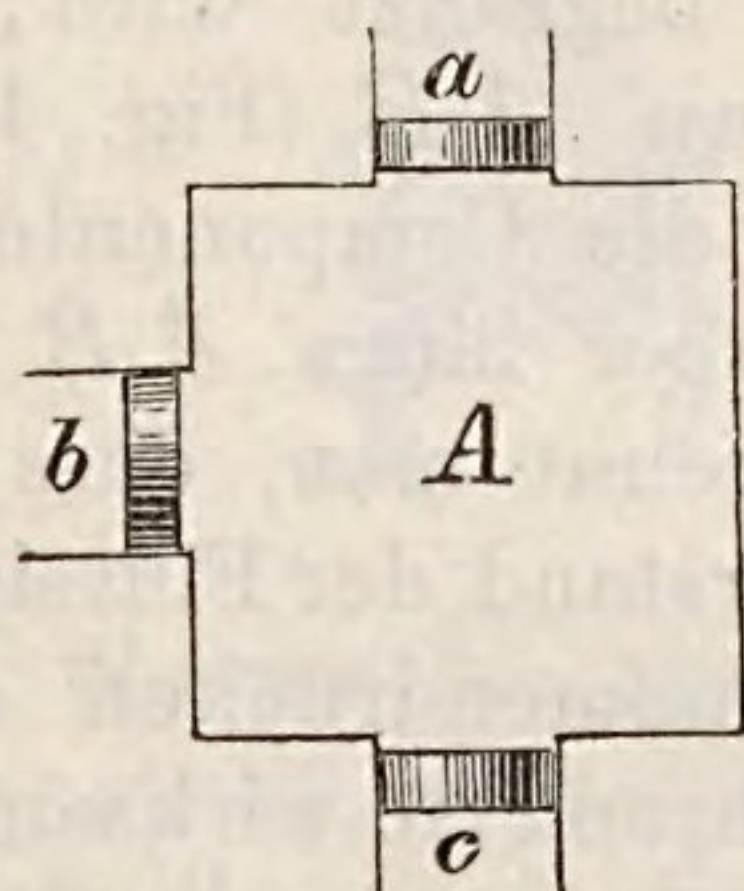
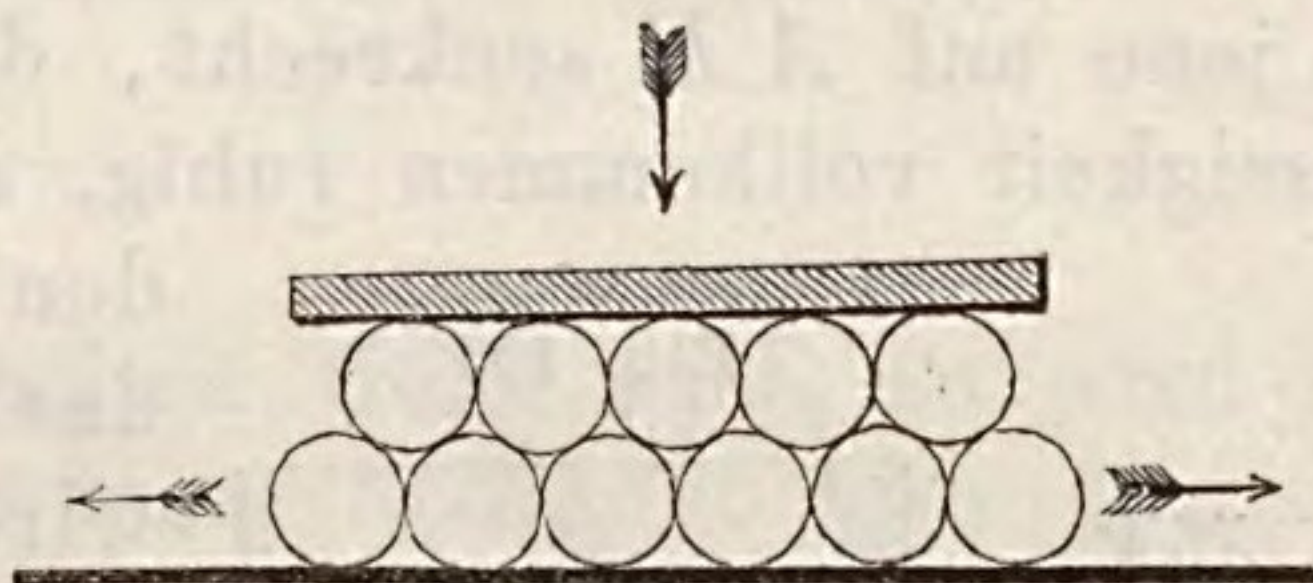


Fig. 151.



er unmittelbar gedrückt worden wäre; an *b* wird keine Bewegung bemerkt. Durch weiteres Pressen kann ein Thoncylinder vom Querschnitt *a* herausgedrückt werden. Ähnliches beobachtet man, wenn Kesselblech behufs der Nietung gelocht wird. Bei festen Körpern pflanzt sich ein Druck nur in seiner Richtung fort.

Versuch b). Legt man mehrere Kugeln, wie Fig. 151 es zeigt übereinander und drückt auf den Deckel abwärts, so dringen die oberen zwischen die unteren Kugeln ein und drängen diese nach allen Seiten auseinander.

Versuch c). Ist das Gefäss *A* (Fig. 150) mit einer Flüssigkeit gefüllt und wird wieder auf *a* z. B. mit 12 Pfd. abwärts gedrückt; so bewegen sich die Stempel *c* und *b*, welche denselben Querschnitt wie *a* haben, nach auswärts und man muss auf *b* und *c* ebenfalls den Druck von 12 Pfd. nach einwärts ausüben, wenn sie in Ruhe bleiben sollen. (Vgl. §. 3). Aus der freien Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen ergibt sich daher das Gesetz der gleichmässigen Fortpflanzung des Druckes:

Jeder Druck, welcher auf eine Flüssigkeitsfläche ausgeübt wird, pflanzt sich mit gleicher Stärke nach allen Richtungen fort, so dass jede Fläche, welche der unmittelbar gedrückten an Grösse gleich ist, (mag sie sich wo immer in der Flüssigkeit befinden) den gleichen Druck wie diese erleidet.

Denken wir uns neben *b* (Fig. 150) eine gleich weite Röhre mit einem Kolben *d* angebracht, so wird auch diese Kolbenfläche mit

12 Pfd. gedrückt. Würde diese Röhre mit der bei b eine einzige von doppeltem Querschnitte bilden, und bliebe der Druck auf a so gross wie früher, so würden die beiden gleich grossen Kolben b und d mit $12 + 12 = 2 \times 12$ Pfd. gedrückt. Ebenso hätten 3 solche neben einander befindliche Kolbenflächen den Druck von 3×12 Pfd. zu erleiden.

Wenn eine in einem Gefässe befindliche Flüssigkeit einem äusseren Drucke ausgesetzt ist, so erleidet jede Ebene im Innern oder an der Grenze der Flüssigkeit einen Druck, welcher gerade so wie der Inhalt dieser Ebene wächst.

Will man den Druck, welchen eine Fläche erleidet, bestimmen, so braucht man nur ihren Flächeninhalt mit dem Druck zu multiplicieren, welcher auf die Flächeneinheit, z. B. auf 1 □'' ausgeübt wird.

114. Freie Oberfläche. Auf denjenigen Theil der Flüssigkeitsoberfläche, welcher von keiner Gefässwand begrenzt wird, d. i. auf die freie Oberfläche oder auf das Niveau AB (Fig. 152) wirke die Kraft ad . Zerlegt man diese Kraft in die Componenten ab und ac , wovon jene auf AB senkrecht, diese aber längs AB wirkt und ist die Flüssigkeit vollkommen ruhig, so erkennt man, dass ab durch

Fig. 152.

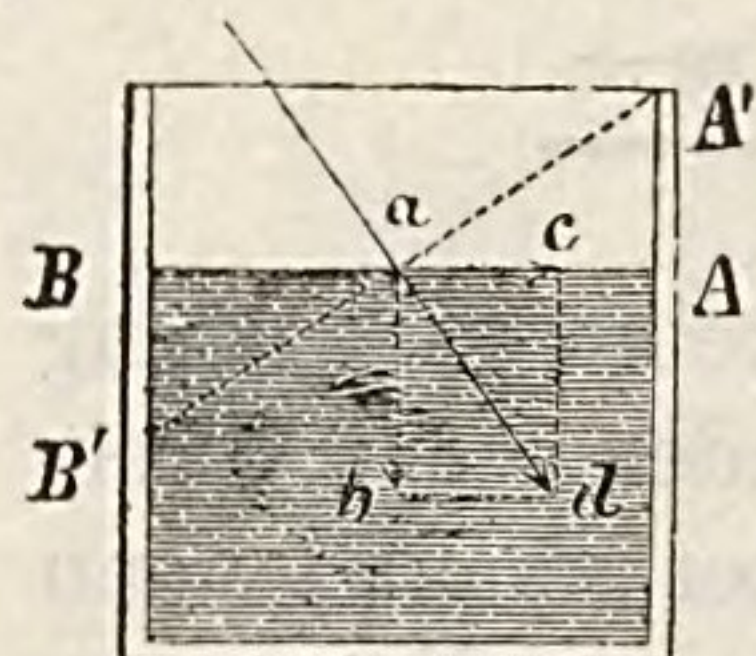
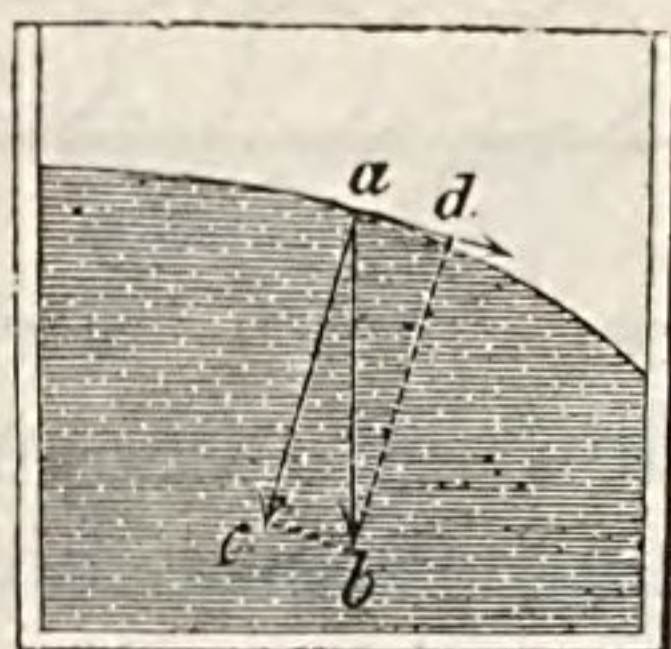


Fig. 153.



den Widerstand der Flüssigkeit gegen das Zusammendrücken aufgehoben wird, während ac wirksam bleibt und das Theilchen a in der Richtung ac bewegt. Die Flüssigkeit müsste also in Bewegung gerathen. Wäre jedoch $A'B' \perp ad$ die freie Flüssigkeitsoberfläche, so würde die ganze

Kraft ab aufgehoben und die Flüssigkeit bliebe in Ruhe.

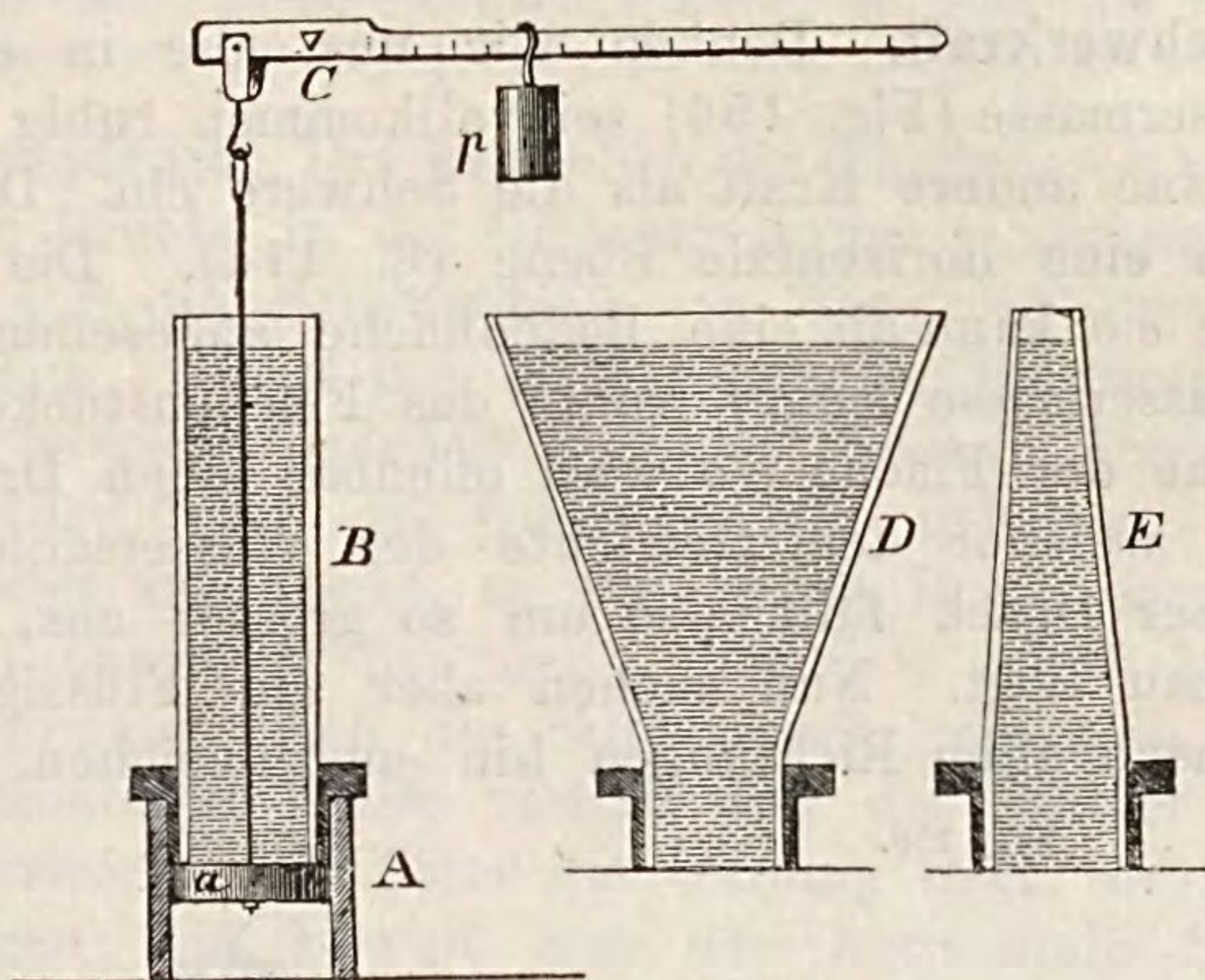
Eine in einem Behälter befindliche Flüssigkeit, auf welche eine äussere Kraft einwirkt, befindet sich nur dann in Ruhe oder im Gleichgewichte, wenn ihre freie Oberfläche auf der Richtung der Kraft senkrecht steht.

Es sei ab (Fig. 153) die Stärke und Richtung der Schwerkraft. Hat die Flüssigkeitsoberfläche keine grosse Ausdehnung, so können die auf die einzelnen Theilchen wirkenden Schwerkräfte als parallel angesehen werden; es wird daher die Oberfläche sich horizontal stellen. Hat die Flüssigkeit, wie z. B. in Meeren eine grössere Ausdehnung, so hat man darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Richtungen der auf verschiedene Punkte wirkenden Schwerkräfte sich im Erdmittelpunkte schneiden. Da die Kugelradien auf der Kugelfläche senkrecht stehen, so folgt, dass das Niveau des Meeres einen Theil einer Kugelfläche bildet; deren Halbmesser dem Erdradius gleich ist. — Man kann sich jederzeit eine wagrechte Ebene, einen sogenannten künstlichen Horizont bilden, indem man Quecksilber in ein Gefäss giesst. — In Folge der Umdrehung der Erde nimmt das Meer an der Abplattung der Erde Theil.

115. Bodendruck. Versuch a). Auf den Messingcylinder A (Fig. 154), in welchen der Kolben a wasserdicht hineinpasst, werde das cylindrische Glasgefäss B aufgeschraubt, der Kolben a an die Schnellwage C angehängt und durch das Gewicht p in der Höhe erhalten. Giesst man in B bis zu einer gewissen Marke Wasser ein, so muss man p nach rechts verrücken, wenn der Wagebalken horizontal

bleiben soll. Die horizontale Bodenfläche erleidet also einen Druck, welchen man mittelst der Wage messen kann. Man findet denselben dem Gewichte des über a im Cylinder befindlichen Wassers gleich.

Fig. 154.



Giesst man Wasser bis zur doppelten Höhe nach, so wird der Bodendruck zweimal so gross als vorhin. Schraubt man nun auf A der Reihe nach die Gefässe B, D, E auf und füllt jedes bis zu derselben Höhe mit Wasser, so muss auch p in allen drei Fällen bei demselben Theilstriche hängen, um dem Drucke des Wassers auf a das Gleichgewicht zu halten. Wird statt Wasser eine andere Flüssigkeit angewendet, so ändert sich das Ergebnis nur in so weit, als der Druck auf a um so viel mal grösser oder kleiner ausfällt, um wie viel die Flüssigkeit specifisch schwerer oder leichter als das Wasser ist.

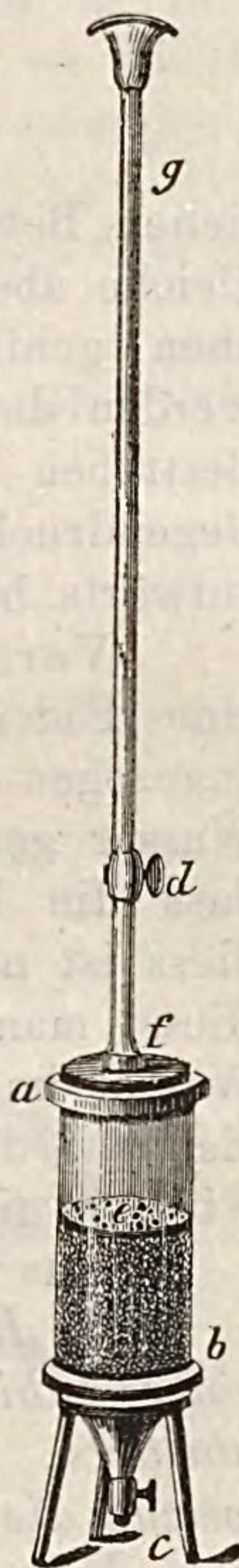
Jede Flüssigkeit übt auf den horizontalen Boden des Gefässes einen Druck aus, welcher von der Form des Gefässes unabhängig und dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule gleich ist, welche die gedrückte Fläche (b) zur Basis und den Abstand (h) des Niveaus von der gedrückten Fläche zur Höhe hat.

Ist also s das specifische Gewicht der betreffenden Flüssigkeit, so lässt sich der Bodendruck D aus der Gleichung

$$D = b \times h \times s \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

berechnen. Für die Berechnung des Bodendruckes merke man, dass ein Kubikfuss Wasser etwa 56·4 Pfd., ein Kubikzoll 250·6 Gran, ein Kubikzoll Quecksilber 14 Loth 47·6 Gran wiegen. Der obige Satz heisst das hydrostatische Paradoxon. — Man kann also mit einer verhältnissmässig sehr geringen Flüssigkeitsmenge einen grossen Druck ausüben, wie diess z. B. bei Real's Presse der Fall ist. Die Real'sche Presse wird benützt, um aus gepulverten Körpern lösliche Stoffe zu extrahieren. Dieselbe besteht aus einem Glas- oder Zinkcylinder ab (Fig. 155), der mit einem siebartigen Boden versehen ist. Den Boden bedeckt man mit einigen Lagen Filtrierpapier und gibt den zu extrahierenden Körper hinein; auf diesen

Fig. 155.



wird wieder ein siebartiger Deckel *e* gelegt und dann die etwa $\frac{1}{2}$ " weite Röhre *fg* angeschraubt. Sperrt man den Hahn bei *c* ab während *d* geöffnet ist, und giesst durch die Röhre Wasser od. dgl. ein, so dringt dieses vermöge des grossen Druckes in die Poren des Körpers ein und löset die löslichen Stoffe auf. Der Extract wird bei *c* abgelassen.

116. Gleichgewicht einer Flüssigkeit unter der alleinigen Einwirkung der Schwerkraft. Denken wir uns, die in einem Gefässe befindliche Wassermasse (Fig. 156) sei vollkommen ruhig und es wirke auf dieselbe keine andere Kraft als die Schwere ein. Die freie Oberfläche ist dann eine horizontale Ebene (§. 114). Die zum Niveau parallele Fläche *eo* kann als eine Bodenfläche angesehen werden, auf welcher die Wassermasse *eogf* ruht; das Flächenstückchen *mn* und jedes ihm gleiche der Fläche *eo* wird offenbar einen Druck nach abwärts erleiden, welcher dem Gewichte des Wassersäulchens *mabn* gleich ist. Dieser Druck fällt also um so grösser aus, je tiefer *mn* unter dem Niveau liegt. Nun suchen aber die Flüssigkeitstheilchen jedem Drucke nach allen Richtungen hin auszuweichen. An der seit-

Fig. 156.

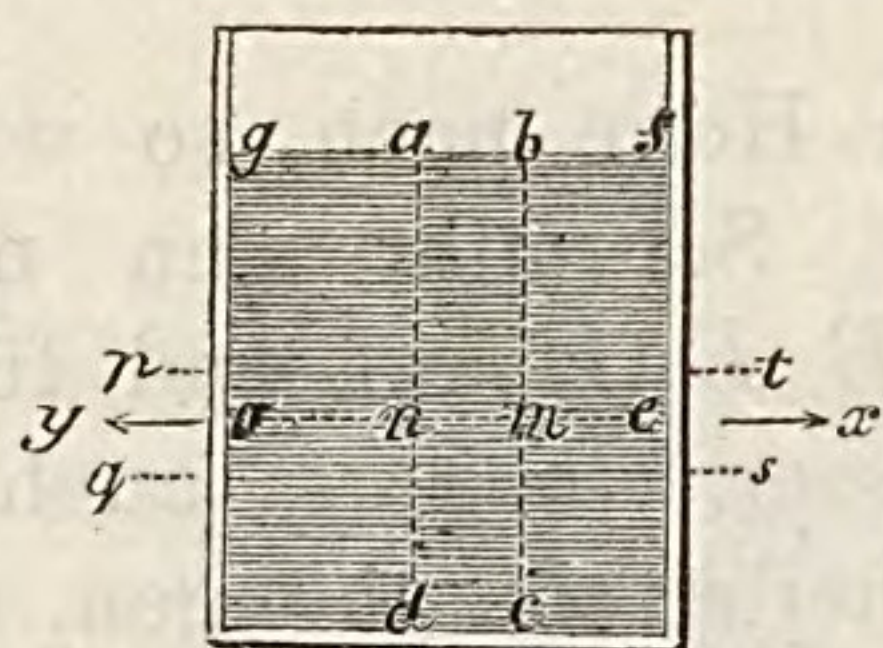
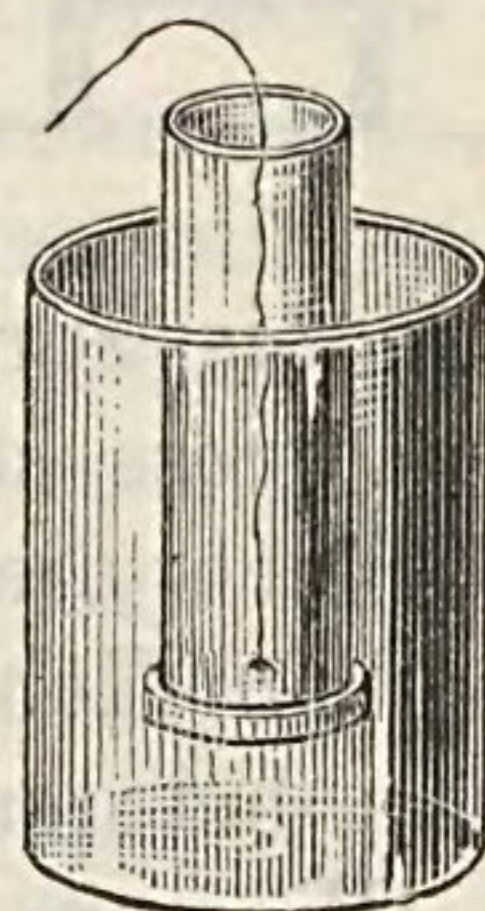


Fig. 157.



lichen Bewegung wird jedes Theilchen der Schichte *eo* durch das gleiche aber gerade entgegengesetzte Bestreben der benachbarten Theilchen gehindert; die den Gefässwänden anliegenden Theilchen *e, o* werden durch den Widerstand der festen Wände aufgehalten. Das Bestreben sich nach abwärts zu bewegen wird ebenso durch einen Gegendruck nach aufwärts aufgehoben. Dass ein Druck vertical nach aufwärts besteht zeigt folgender

Versuch. Eine dünne, glatt geschliffene Platte werde mittelst eines Fadens an den abgeschliffenen Rand eines Glasrohres (Fig. 157) fest angezogen und dann das Rohr, die Platte nach abwärts gekehrt, in's Wasser getaucht. Die Platte wird fest an das Rohr angedrückt, so dass die Platte nicht abfällt, wenn die Schnur ausgelassen wird; diess ist nur durch einen nach aufwärts gerichteten Druck erklärlich. Giesst man in die Röhre Wasser, so fällt die Platte ab, wenn das Wasser im Rohre etwa so hoch steht wie aussen. Man überzeuge sich auf diese Weise, dass der Druck nach aufwärts um so grösser wird, je tiefer man die Röhre einsenkt.

Aus dem Vorhergehenden folgt:

1. Jede Niveaufläche, d. i. jede Fläche, welche zum Niveau einer ruhigen Flüssigkeit parallel ist, erleidet einen Druck vertical abwärts, welcher gleich ist dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die gedrückte Fläche zur Basis und den Abstand dieser Fläche vom Niveau zur Höhe hat.

2. *Der Druck ist an allen Punkten einer und derselben Niveaufläche gleich gross.*

3. *Jede Stelle einer Niveaufläche wird vertical aufwärts ebenso stark wie vertical abwärts gedrückt.*

Lässt man eine Taucherglocke in's Meer, so wird die in ihr befindliche Luft um so stärker zusammengepresst, je tiefer die Glocke hinabgelassen wird.

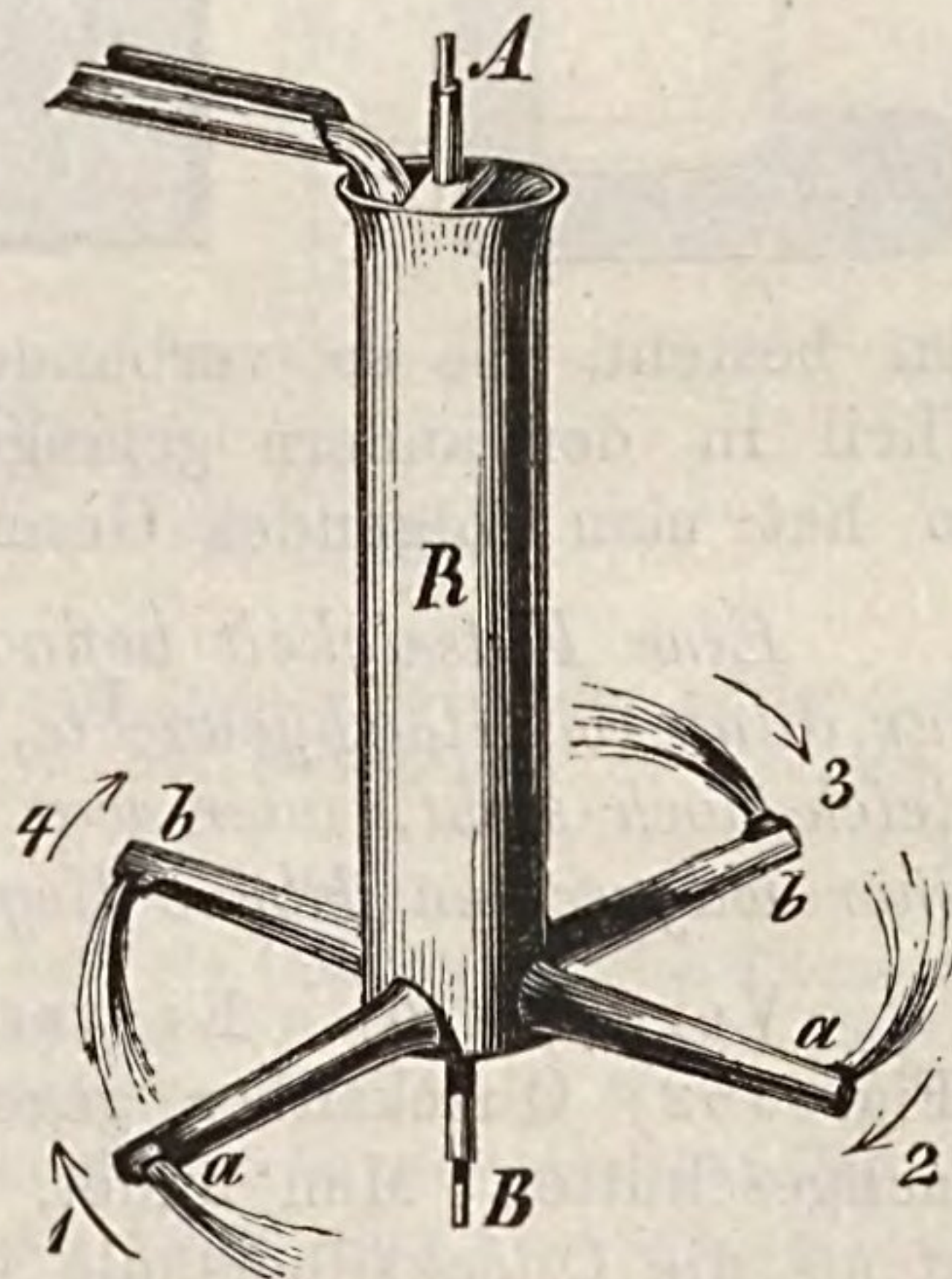
117. Seitendruck. Das Bestreben der Theilchen e und o (Fig. 156), dem verticalen Drucke in der Richtung x und y auszuweichen, erzeugt einen Druck auf die Seitenwände, so dass die dem $m n$ gleichen Flächenstückchen $s t$ und $p q$ in horizontaler Richtung ebenso stark, wie $m n$ nach abwärts gedrückt werden. Diesem Drucke wird durch die Festigkeit der Wand das Gleichgewicht gehalten. Wird aber in $p q$ eine Öffnung angebracht, so wird jener Druck das Wasser in der horizontalen Richtung y bewegen; nebstdem wirkt auf die heraus tretende Wassermasse noch die Schwerkraft, wesshalb sich die Sache wie beim horizontalen Wurfe verhält und das Wasser in Form einer Parabel herausströmt. Je tiefer die Öffnung liegt, desto weiter wird der Parabelbogen; ein Beweis dass der horizontale Seitendruck mit der Tiefe zunimmt.

Versuch. Hängt man das Gefäss auf, so dass es leicht beweglich ist, und lässt man bei $p q$ Wasser ausfliessen, so bewegt sich das Gefäss in der Richtung x ; dieses kann nur die Folge eines in der Richtung x ausgeübten Druckes sein. Ist $p q$ verschlossen, so sucht der auf diese Fläche ausgeübte Druck das Gefäss längs y zu bewegen; weil aber dieser Druck jenem auf $s t$ gleich und gerade entgegengesetzt ist, so heben sich die beiden Bewegungsanregungen auf und das Gefäss bleibt in Ruhe.

Jede Stelle der Seitenwände eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefässes erleidet einen Druck, welcher um so grösser ist, je tiefer die Stelle unter dem Niveau liegt. In Folge dieses Druckes strömt die Flüssigkeit bei einer Seitenöffnung in Form eines Parabelbogens heraus. Ist hiebei das Gefäss leicht beweglich, so bewegt sich dasselbe in einer Richtung, welche jener des Ausflusses gerade entgegengesetzt ist. Die Ursache dieser Bewegung wird die Rückwirkung (Reaction) der ausströmenden Flüssigkeit genannt.

Hierauf beruht Segner's Wasserrad. Dasselbe besteht (Fig. 158) aus einem hohlen Cylinder R , welcher um die verticale Axe $A B$ drehbar und unten mit den Röhren a, b versehen ist. Wird R mit Wasser gefüllt, so strömt dieses bei a, b heraus und der Cylinder dreht sich im Sinne der Pfeile 1, 2,

Fig. 158.



3, 4. Auf diesem Gesetze beruhen auch die horizontalen Wasserräder oder Turbinen. Die anderen Wasserräder stehen vertical auf horizontaler Welle. Bei dem sogenannten ober-schlächtigen Wasserrad (Fig. 159) sind am Radkranze Käst-

Fig. 159.

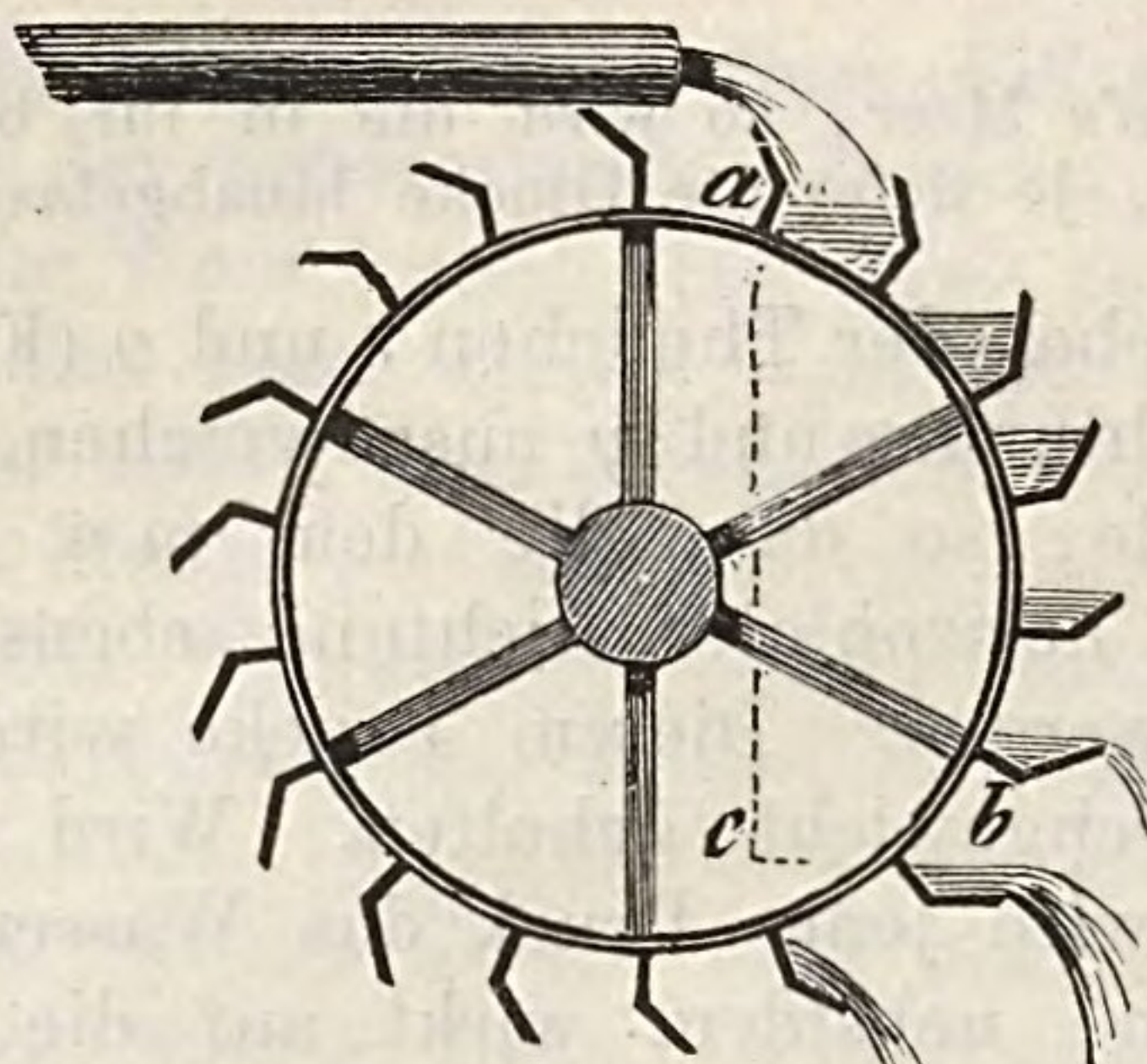
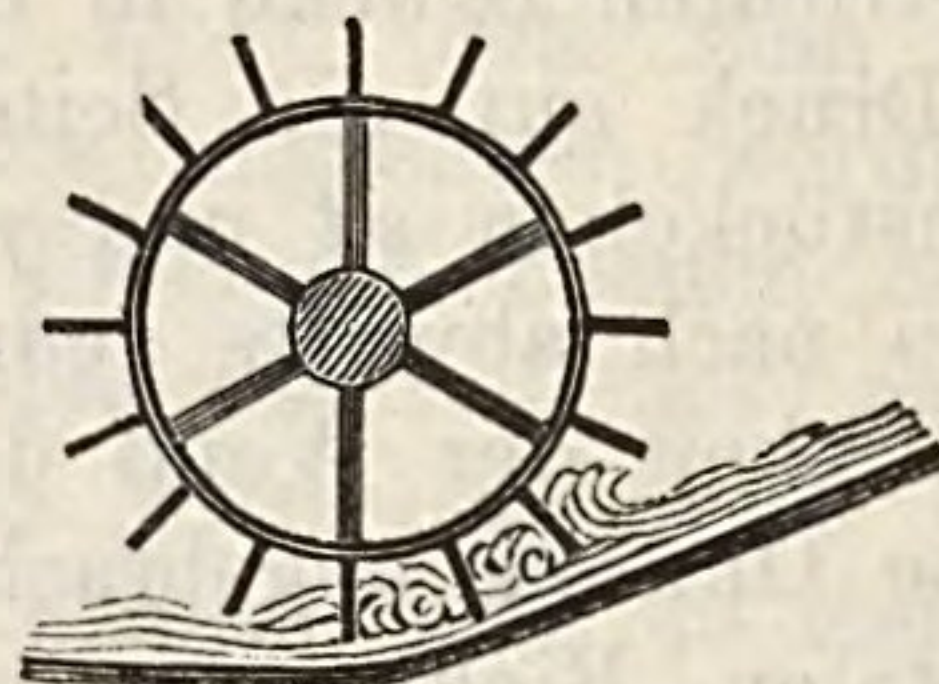


Fig. 160.



chen wie 1, 1 angebracht, welche aus einem Rinnsale mit Wasser gefüllt werden, durch dessen Gewicht das Rad gedreht wird. Bei *a* fließt das Wasser ein, bei *b* strömt es wieder aus, so dass es durch die Höhe *a c* fortwirkt. Bei dem unterschlächtigen Wasserrade (Fig. 160) übt das strömende Wasser auf die Schaufeln einen Stoss aus.

118. Communicierende Gefässe. Versuch *a*). Man sondere ein mit Wasser gefülltes Gefäss durch eine Glastafel *a b* (Fig. 161) in zwei Theile *A*, *B*, welche mit einander in Verbindung (Communication) stehen, so dass das Wasser aus einem Theil in den andern ge-

Fig. 162.

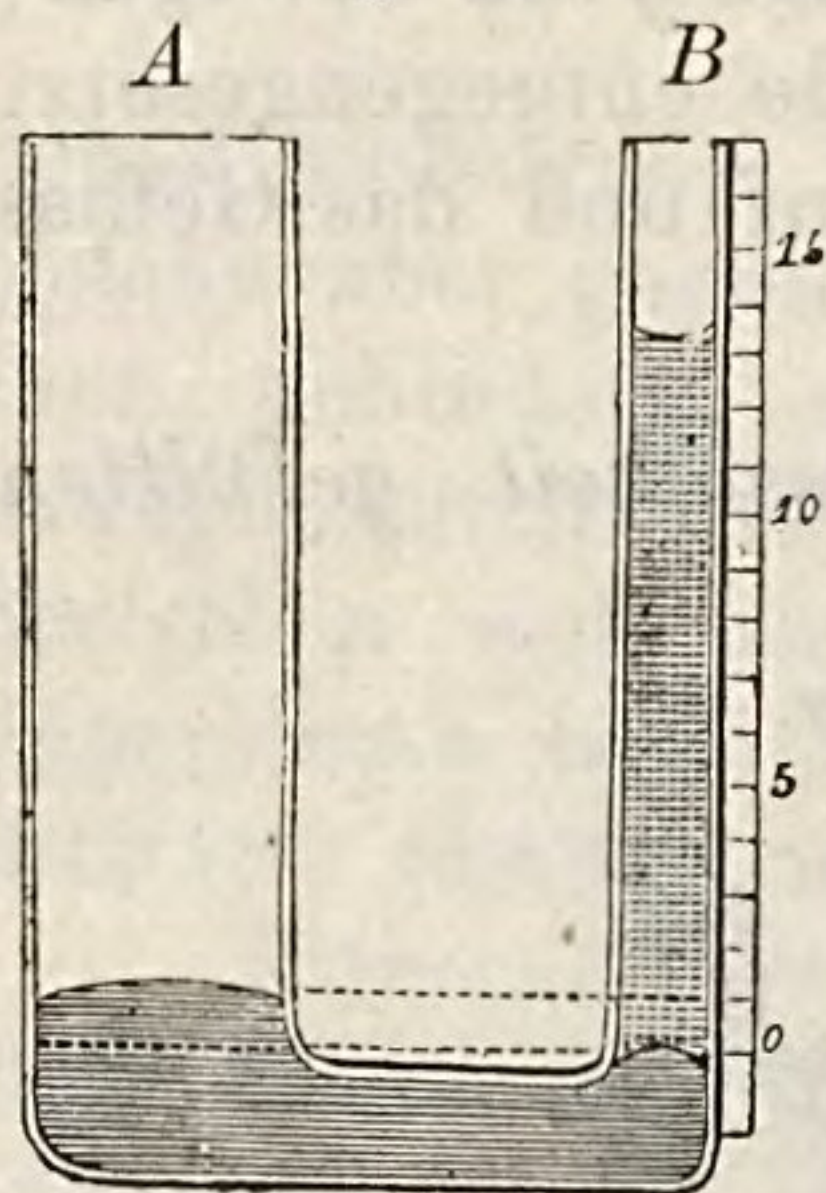
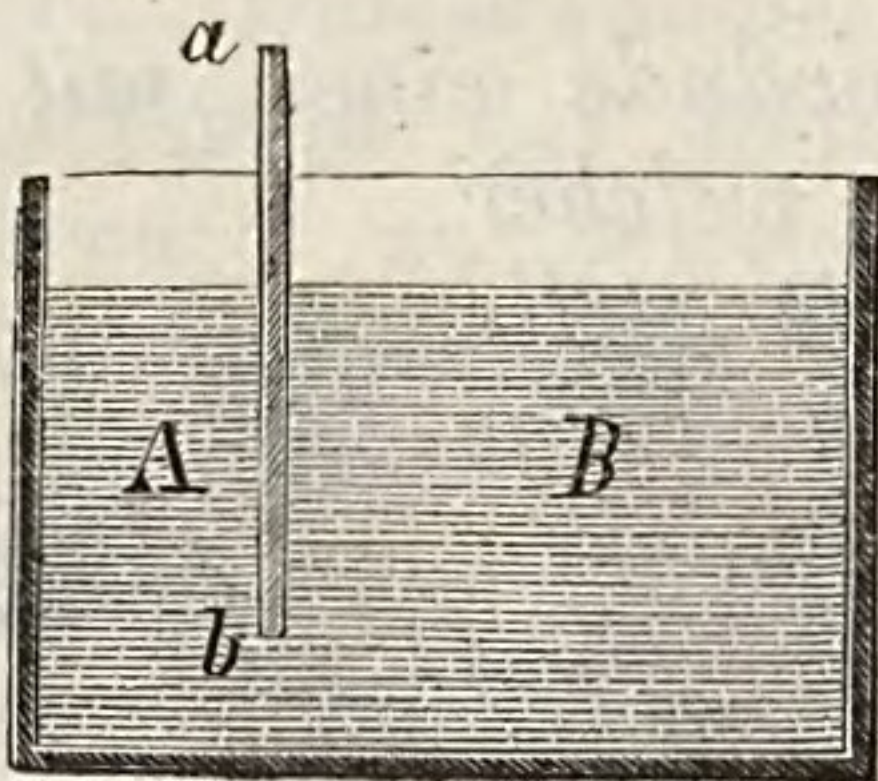


Fig. 161.



langen kann und daher gewissermassen wie vorhin eine Masse bildet. Die Oberfläche liegt in *A* und *B* gleich hoch. Ganz ähnlich verhält es sich in nicht zu engen Röhren, welche durch Seitenröhren verbunden und mit einer und derselben Flüssigkeit gefüllt sind.

Heisst man ein Gefäss, welches aus mehreren Thei-

len besteht, die so verbunden sind, dass die Flüssigkeit aus einem Theil in den andern gelangen kann, ein Communicationsgefäss, so hat man folgendes Gesetz:

Eine Flüssigkeit befindet sich in einem Communicationsgefässe nur dann im Gleichgewichte, wenn sie in allen Schenkeln des Gefässes gleich hoch steht, oder was dasselbe ist, wenn ihre Oberflächen in einer wagrechten Ebene liegen.

Versuch *b*). Es werde in die communicierenden Röhren *A*, *B* (Fig. 162) Quecksilber gegossen und dann in die Röhre *B* Wasser nachgeschüttet. Man findet, dass die Wassersäule etwa 13.6mal höher ist als die Quecksilbersäule im Schenkel *A*, wenn die Höhen von der Trennungsfläche der beiden Flüssigkeiten an gerechnet werden. Das

Quecksilber ist aber 13.6mal dichter als das Wasser. Es gilt also das Gesetz:

Befinden sich in einem Communicationsgefässe zwei verschiedenartige Flüssigkeiten, welche sich nicht mischen; so verhalten sich die Höhen derselben von der Trennungsfläche an gerechnet umgekehrt wie die Dichten der beiden Flüssigkeiten.

Heissen wir die Höhen h und h' , die Dichtigkeiten der betreffenden Flüssigkeiten d , d' so lässt sich das obige Gesetz durch die Proportion: $h : h' = d' : d$ ausdrücken. — Die Giess- und Theekanne stellen communicierende Gefässe vor. Bei den Nachtlampen ohne Docht steigt das Öl in dem Röhrchen c (Fig. 163) des Schälchens ab so hoch empor als es aussen im Gefässe ACB steht. Das Öl tritt in c als Tropfen hervor; dieser wird angezündet. — An den Dampfkesseln werden Wasserstandgläser wie ab (Fig. 164) angebracht, um leicht zu erkennen, wie hoch das Wasser im Kessel steht. Auf dem Gesetze der Comuni-

Fig. 163.

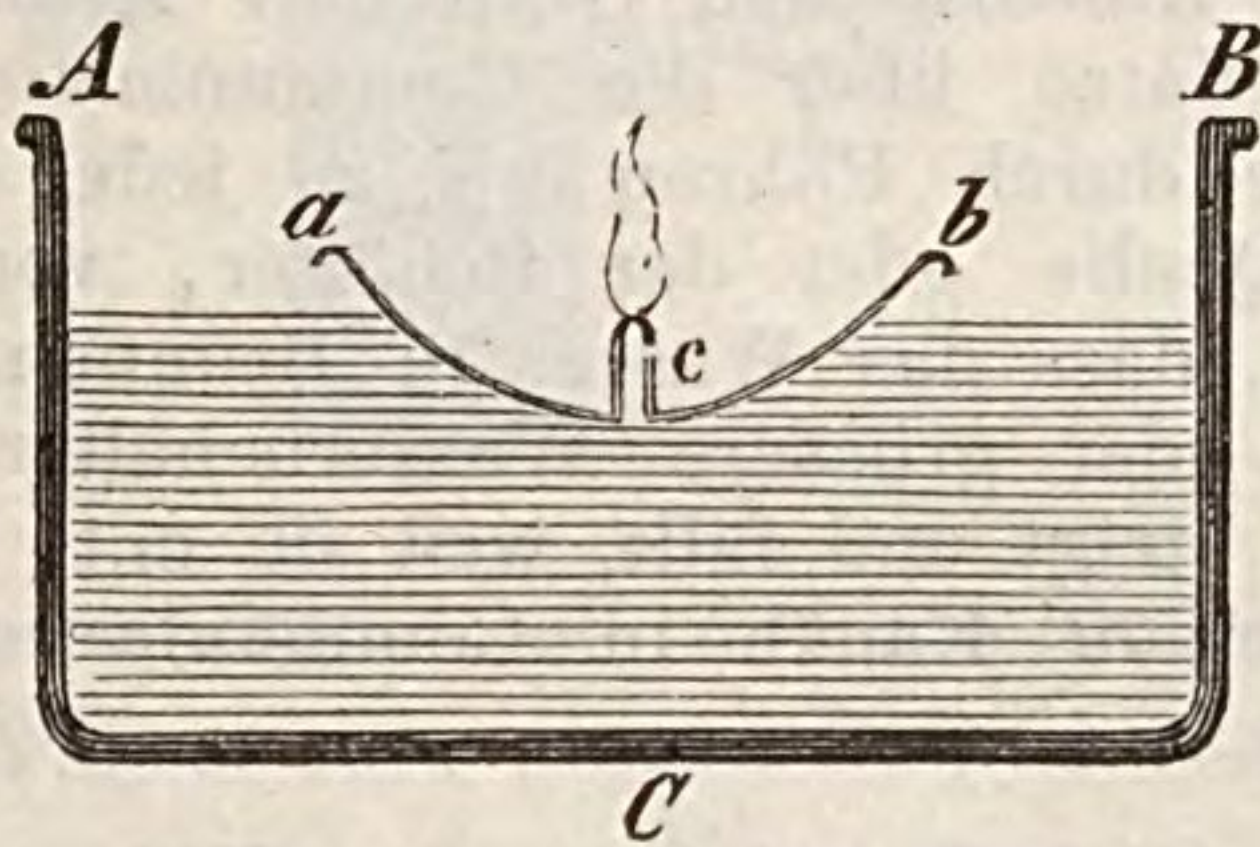
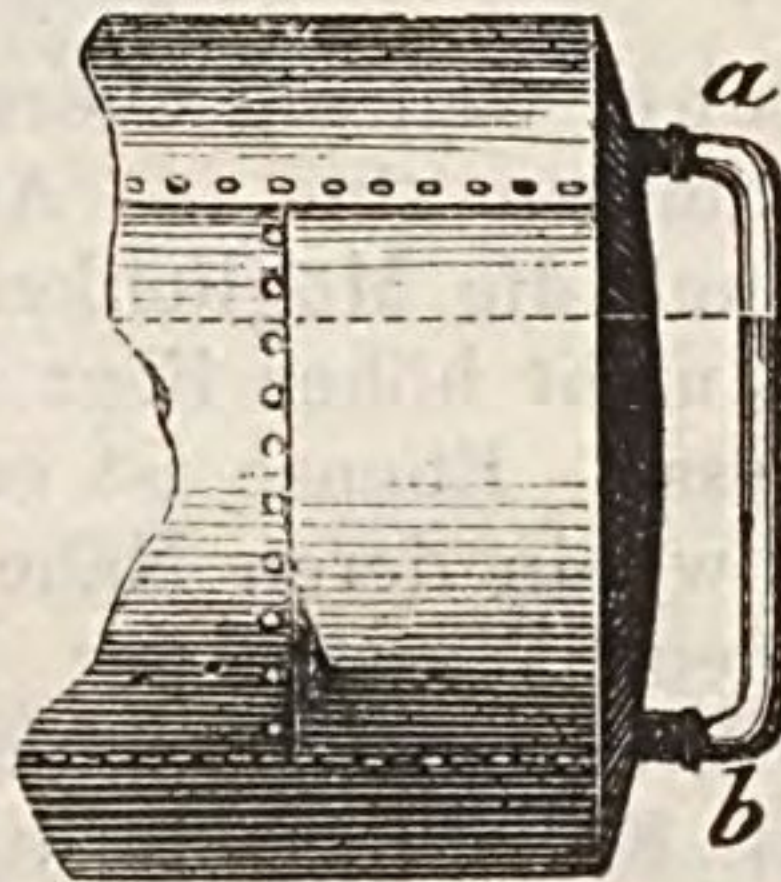
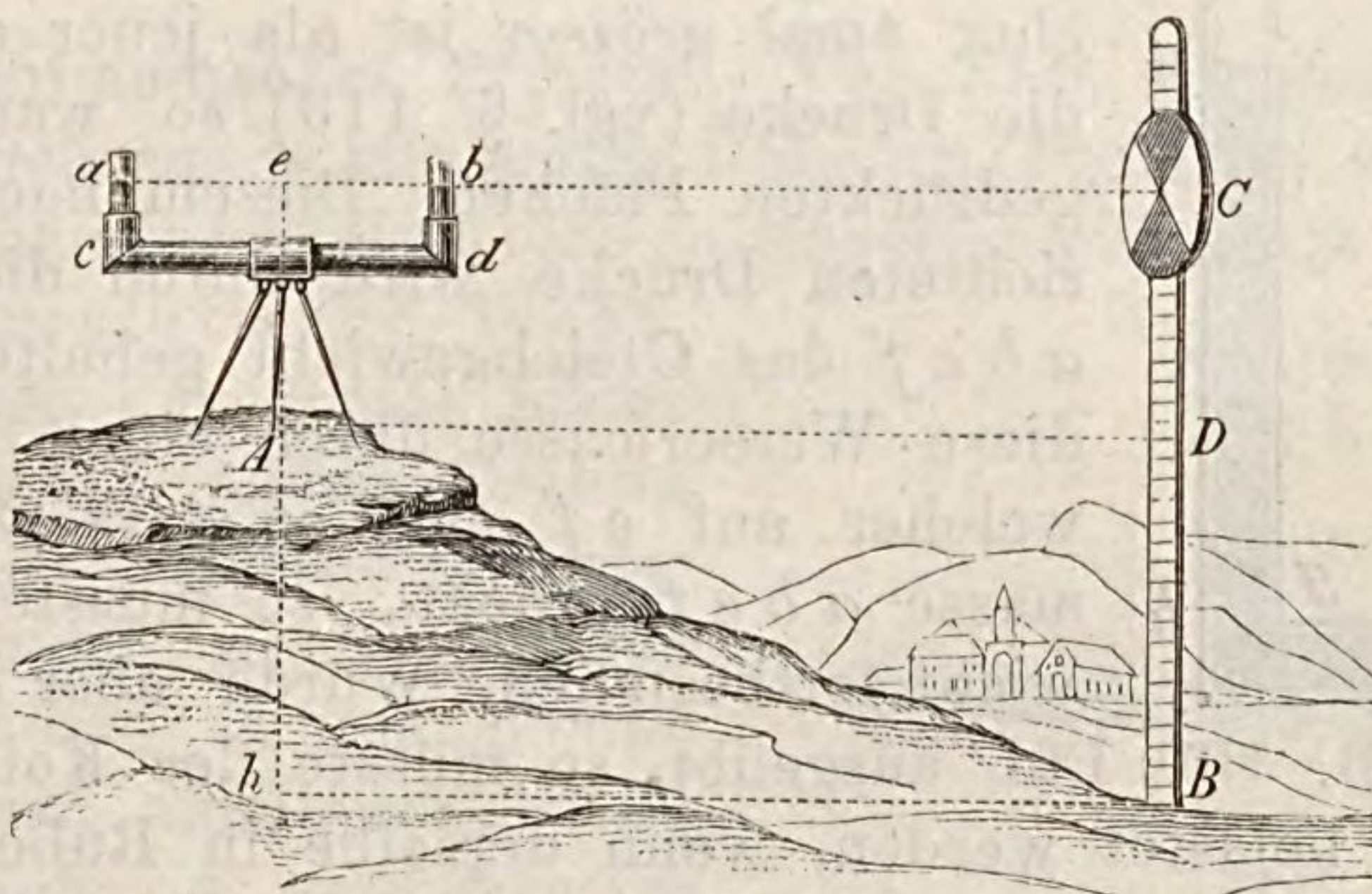


Fig. 164.



cationsgefässe beruht auch die Kanalwage, welche angewendet wird um zu bestimmen, um wie viel ein Ort A höher als ein Ort B liegt. Die Kanalwage besteht aus einem Messingrohr cd (Fig. 165), das auf einem Stative ruht und in dessen senkrecht aufstehenden Enden je eine Glasröhre a, b eingefügt ist; im In-

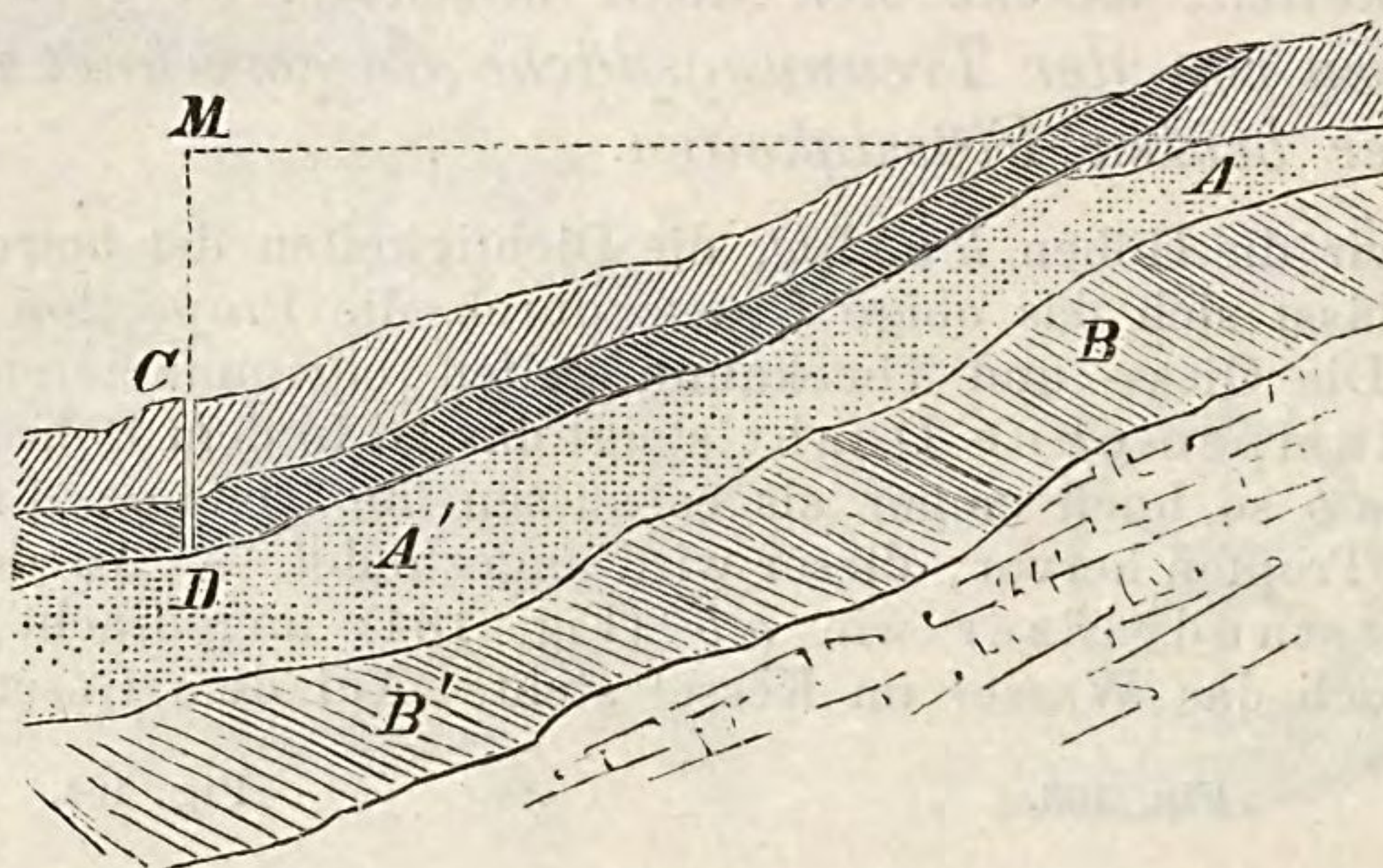
Fig. 165.



nern befindet sich gefärbter Weingeist. Man visiert längs der in der horizontalen ab liegenden Oberflächen des Weingeistes gegen die Zielscheibe C . Ist $Bh \parallel DA$ horizontal, so ist die Höhe des Ortes A , nämlich $Ah = eh - eA = CB - eA$. — Ein Theil des Wassers, welches vom Regen, vom Schmelzen des Schnees und Eises herrührt, dringt in das Erdinnere so tief ein, bis ihm durch eine Thon- und Mergelschichte oder durch eine feste Gesteinschichte BB' (Fig. 166) ein Ziel gesetzt wird. In der oberhalb BB' befindlichen lockeren Schichte AA' sammelt sich daher das Wasser an, rinnt von den höheren zu den tiefer gelegenen Stellen und kommt, falls ihm der Durchgang gestattet ist, am Fusse oder Abhange als Quelle zum Vorschein. Bohrt man z. B. bei C ein Loch CD bis zu der wasserführenden Schichte, so dringt das Wasser in CD empor; dabei sollte es sich bis M er-

heben, vorausgesetzt dass A der höchste Punkt des Wassers in AA' ist; die Schwerkraft und andere Bewegungshindernisse vermindern aber die Steighöhe des Wassers um ein Bedeutendes. Man nennt solche gebohrte Brunnen gewöhn-

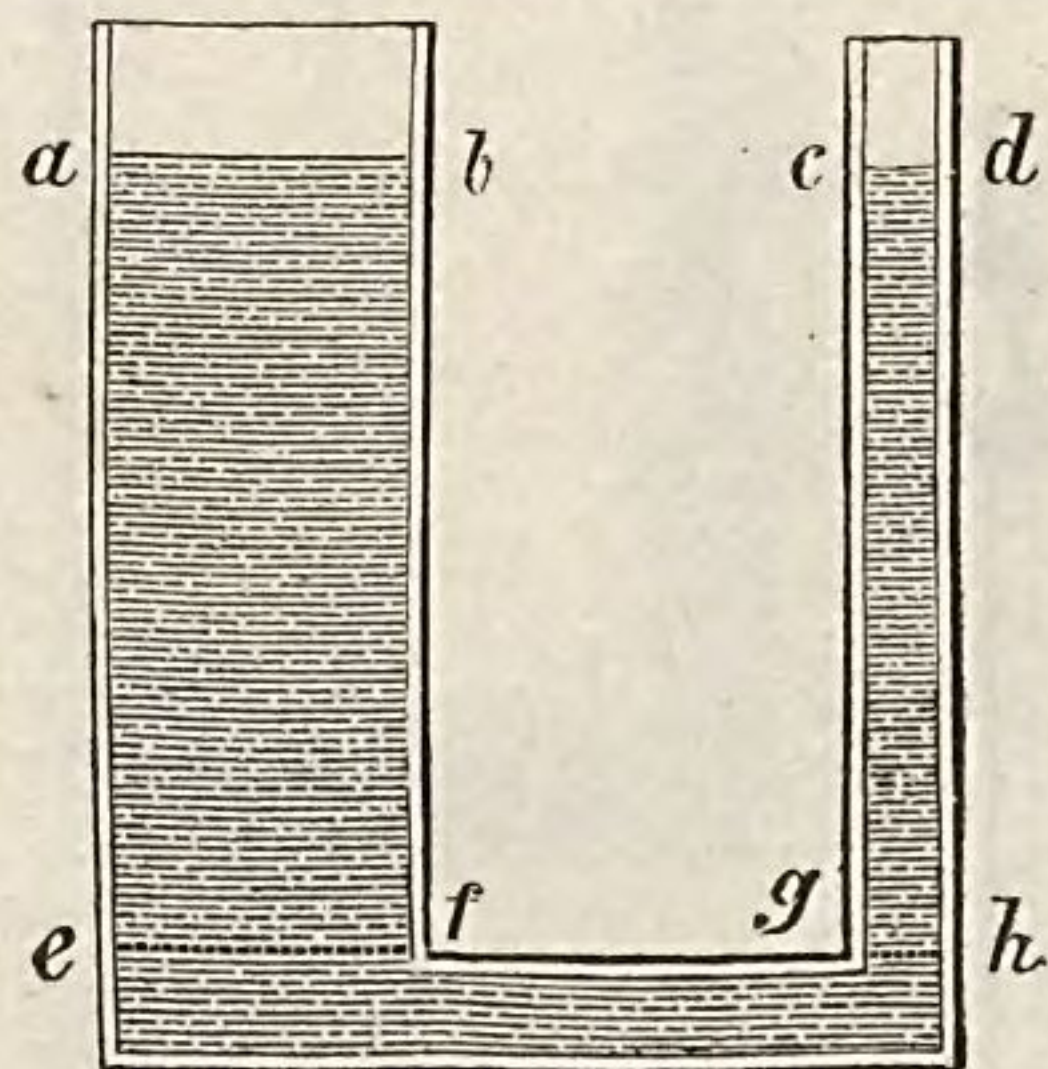
Fig. 166.



lich artesische, weil sie zuerst in der französischen Grafschaft Artois in Anwendung gekommen sind. — Aus dem Satze über die Communicationsgesetze erklärt sich auch die Möglichkeit Wasser durch Röhren bis zu jeder Stelle zu leiten, welche nicht höher liegt als die Quelle oder der Behälter, von wo das Wasser ausfließt. Ebenso ist ersichtlich, dass das Wasser in Brunnen, Kellern, Teichen u. s. w., in deren Nähe Flüsse oder grössere Wasserbehälter sich befinden, mit dem Wasser der letzteren steigt und fällt, weil sie mit denselben durch die im Erdreiche vorhandenen kleinen Kanäle in Communication stehen. (Grundwasser). Künstliche Springbrunnen.

119. Brahma's Presse. In den communicierenden Röhren $a e h d$ (Fig. 167), bei welchen der Querschnitt $ef = 4 \times gh$ ist, befinde sich Wasser. Der Druck, welchen die Wassersäule $c d g h$ auf gh

Fig. 167.

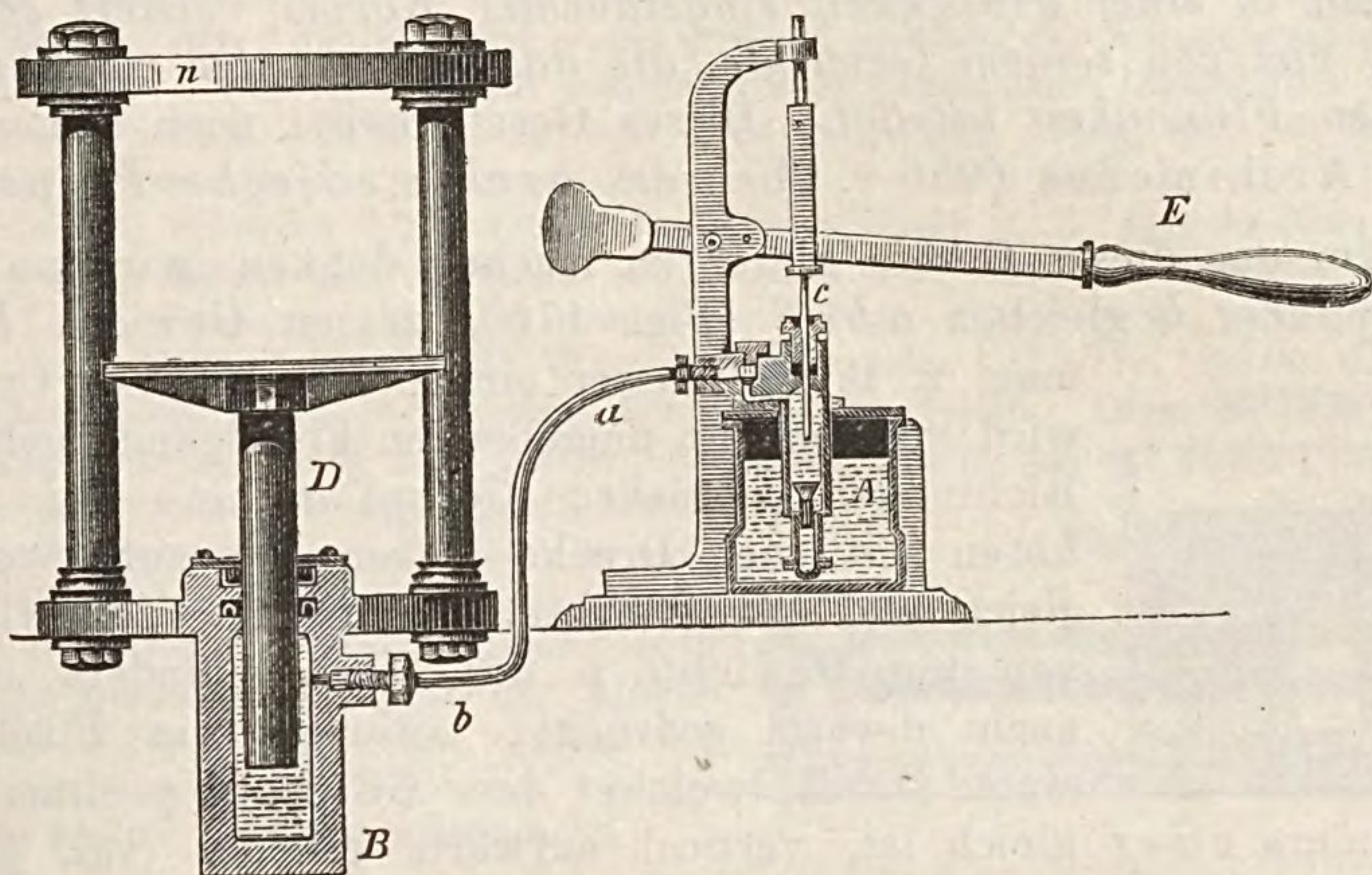


ausübt, pflanzt sich zu ef fort, und es erleidet die Fläche ef einen Druck nach aufwärts, welcher 4mal grösser ist als jener auf gh , weil die Drucke (vgl. §. 113) so wachsen wie die gedrückten Flächen. Diesem nach aufwärts gerichteten Drucke wird durch die Wassermasse $a b e f$ das Gleichgewicht gehalten; würde nun diese Wassermasse durch einen Kolben ersetzt, welcher auf ef eben so stark wie die Wassermasse $a b e f$ drückt, so müsste das Gleichgewicht fortbestehen. Würde aber in $c d$ noch ein Druck von z. B. 100 Pfd. ausgeübt, so müsste der Kolben bei ef mit 4×100 Pfd. belastet werden, wenn derselbe in Ruhe bleiben sollte; die Belastung müsste 10×100 Pfd. betragen, wenn die Kolbenfläche ef zehnmal grösser als gh wäre. Würde der Kolben nicht belastet sein, sondern oben gegen eine feste Widerlage anstossen, so hätte diese Widerlage den ganzen Druck auszuhalten. Ein derartiges Communicationsgesetz bietet also ein Mittel, einen bestimmten Druck auf leichte Weise zu vervielfältigen, und mit kleinen Kräften grosse Drucke auszuüben.

Bei der Brahma'schen Presse wird von diesem Mittel Gebrauch gemacht. Dieselbe (Fig. 168) besteht der Hauptsache nach aus zwei

durch das Rohr $a\ b$ communicierenden Cylindern A, B von sehr ungleichem Durchmesser, in jedem befindet sich ein an die Cylinderwand gut anschliessender Kolben c, D . Zieht man c mit Hilfe des Hebels E

Fig. 168.

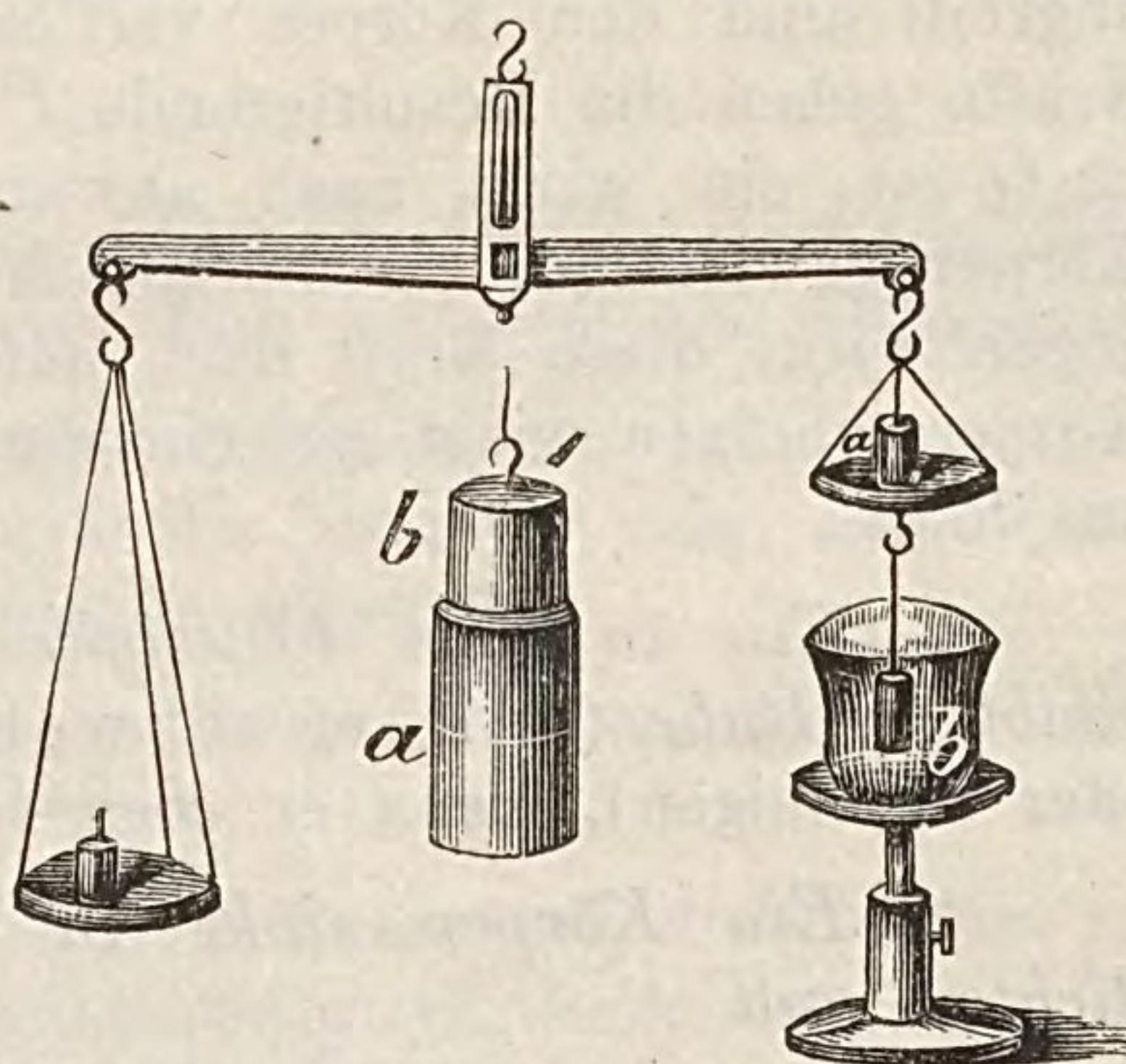


empor, so öffnet sich das am Boden von A befindliche Ventil und es dringt Wasser aus einem Behälter nach A ein; beim Hinabdrücken des Kolbens c wird das Wasser durch einen seitlichen Kanal, welcher durch ein Ventil verschlossen ist und in $a\ b$ einmündet, in den Presscylinder B getrieben. Das in B eingepumpte Wasser hebt den Kolben D empor, und ein auf D liegender Körper wird in Folge des auf c ausgeübten Druckes gegen die Widerlage n gepresst.

120. Archimedisches Princip. Versuch. An einer Krämerwage sei die eine Schale unten mit einem Haken (Fig. 169) versehen und an kürzeren Drähten aufgehängt; eine so eingerichtete Wage heisst gewöhnlich eine hydrostatische Wage.

Fig. 169.

An das Haken der Schale hänge man mittelst eines feinen Drahtes oder Fadens den massiven Cylinder b , der ebenfalls mit einem Haken 1 versehen ist und in den hohlen Cylinder a genau hineinpasst, stelle den Hohlcylinder a auf dieselbe Schale und setze die Wage ins Gleichgewicht. Wird nun b in eine Flüssigkeit eingetaucht, dass von dieser die obere Fläche des Cylinders eben bedeckt wird, so sinkt die andere Schale und der Wagebalken stellt sich erst dann horizontal, wenn der Cylinder a mit derselben Flüssigkeit genau angefüllt ist. — Der Eimer eines Zieh-

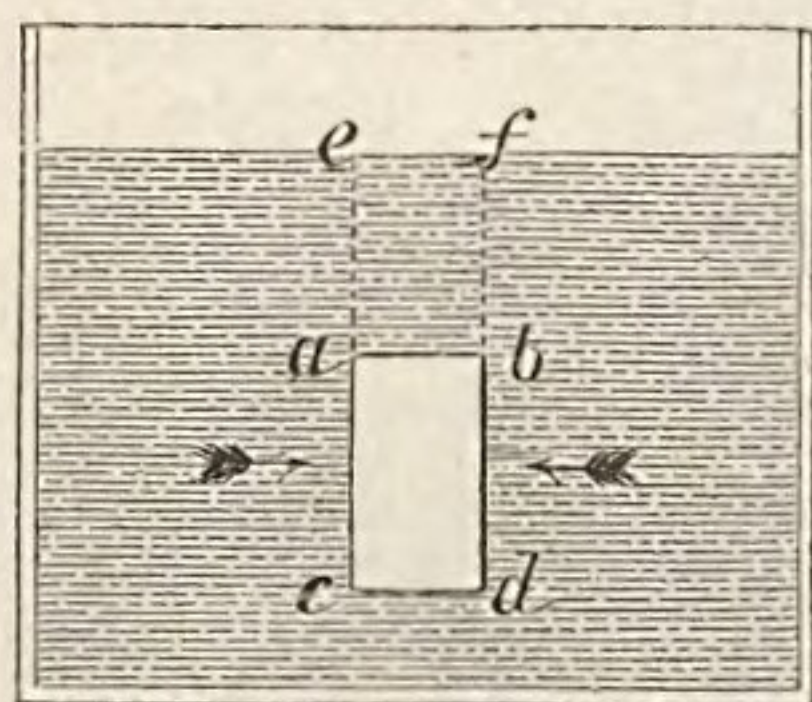


brunnens wird leichter gehoben, so lange er noch unter dem Wasser ist. Unter Wasser kann man Körper tragen, welche man ausserhalb des Wassers nicht zu heben vermag. Mächtige Schiffe werden von mässigem Winde bewegt.

Ein in einer Flüssigkeit eingetauchter Körper verliert scheinbar so viel von seinem Gewichte, als das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit beträgt. Dieses Gesetz heisst nach seinem Entdecker Archimedes (250 v. Chr.) das *archimedische Princip*.

Um uns dieses Gesetz klarer zu machen denken wir uns einen dem Cylinder b gleichen $a b c d$ (Fig. 170), dessen Gewicht P sein

Fig. 170.



mag, z. B. in Wasser eingetaucht. Dieser Cylinder wird von der ihn umgebenden Flüssigkeit nach allen Richtungen gedrückt; die auf $a c$ und $b d$ ausgeübten seitlichen Drucke heben sich auf, weil sie gleich und entgegengesetzt sind. Hingegen wird $a b$ von dem Gewichte p des Wassercylinders $a b e f$ nach abwärts gedrückt, während die Fläche $c d$ einen Druck, welcher dem Gewichte q eines Wassercylinders $c d e f$ gleich ist, vertical aufwärts erleidet (vgl. §. 116, 3). Diese einander gerade entgegengesetzten Drucke geben die Resultierende $q - p = Q$, welche dem Gewichte eines Wassercylinders $a b c d$ gleich ist und vertical aufwärts wirkt. *Jeder in einer Flüssigkeit eingetauchte Körper wird also von jener mit einer Kraft gehoben, welche dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit gleich ist und im Schwerpunkte dieser den Angriffspunkt hat.* Man nennt diese Kraft den *Auftrieb* oder die *Tragkraft der Flüssigkeit* und sie ist eben die Ursache von dem scheinbaren Gewichtsverluste der eingetauchten Körper.

Auf jeden in eine Flüssigkeit vollständig eingetauchten Körper wirken also zwei Kräfte, nämlich das Gewicht P des Körpers, welches in seinem Schwerpunkte angreift und ihn vertical abwärts zieht und der Auftrieb Q , welcher im Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit angreift und den Körper vertical emporzuheben sucht. Diese zwei Kräfte geben die Resultierende $P - Q$; dieselbe ist gleich Null, wenn $P = Q$ ist; sie wirkt nach abwärts, wenn $P > Q$, d. i. wenn der Körper gewichtiger als ein gleiches Volumen der Flüssigkeit ist; dagegen wirkt diese Kraft nach aufwärts, wenn $P < Q$ d. i. wenn der Körper weniger wiegt als ein gleiches Volumen der Flüssigkeit. Hieraus folgt:

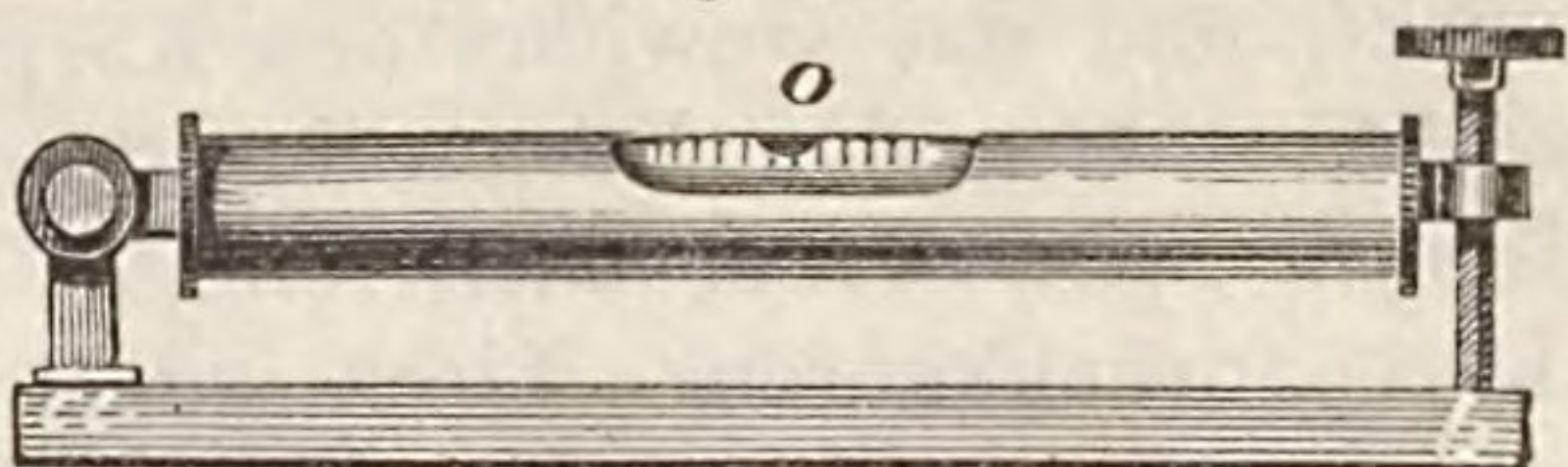
1. *Ein in einer Flüssigkeit vollständig eingetauchter Körper bleibt in Ruhe* (d. h. er schwebt in der Flüssigkeit, ohne zu sinken oder zu steigen), *wenn er eben so dicht als die Flüssigkeit ist.*

2. *Ein Körper sinkt in einer Flüssigkeit unter, wenn er dichter, und*

3. *er steigt in der Flüssigkeit empor, wenn er weniger dicht als die Flüssigkeit ist.*

Ein Ei ist dichter als reines Wasser, dagegen weniger dicht als eine gesättigte Kochsalzlösung; im Wasser sinkt es also zu Boden, in der Kochsalzlösung steigt es empor. Wird letztere mit reinem Wasser entsprechend gemischt, so schwebt das Ei in der Mischung. Öl steigt im Wasser empor; in einer passenden Mischung von Wasser und Alkohol bleibt ein Öltropfen überall in Ruhe. — Bleibt ein Ertrunkener längere Zeit im Wasser liegen, so geräth er in Fäulnis, die dabei entwickelten Gase blähen den Körper auf, dieser verdrängt daher mehr Wasser, der Auftrieb wird somit grösser, so dass der Körper emporgehoben werden kann. — Ein mit einem langen Halse versehener Glaskolben sei ganz mit Wasser gefüllt. Taucht man den Hals in rothen Wein ein, so steigt der Wein im Wasser empor, während dieses sinkt. — Gibt man in ein Gefäss verschiedene mit einander nicht mischbare Flüssigkeiten z. B. Quecksilber, Wasser, Öl, Luft, so lagern sich dieselben so übereinander, dass die dichtere immer die tiefere Lage einnimmt; die Luft nimmt die höchste Stelle gegen eine horizontale Ebene ein. Hierauf beruht die Wasserwage oder Libelle, welche dazu dient eine Ebene oder eine Drehungsaxe horizontal zu stellen. Dieselbe (Fig. 171) besteht aus einer inwendig sehr glatten Glasröhre, welche bis auf einen ganz kleinen Theil mit gefärbtem Weingeist gefüllt und beiderseits geschlossen ist. Die im Innern befindliche Luftblase nimmt immer die höchste Stelle *o* der Röhre ein, wenn die wohl geebnete Basis *ab* der Libelle horizontal liegt. Um den Stand der Luftblase genauer beurtheilen zu können ist eine kleine Theilung angebracht.

Fig. 171.



121. Schwimmende Körper. Ist ein Körper vom Volumen V und dem specifischen Gewicht S ganz in eine Flüssigkeit eingetaucht, deren specifisches Gewicht s grösser als das des Körpers ist, so steigt er in der Flüssigkeit so lange empor, bis nur noch ein solcher Volumtheil v eingetaucht ist, dass das Gewicht $v \times s$ der verdrängten Flüssigkeit, d. i. der Auftrieb dem Gewichte $V \times S$ des Körpers gleich ist. Liegen nun noch der Schwerpunkt des Körpers und der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit in derselben Verticalen, so muss der Körper auf der Flüssigkeit in Ruhe verbleiben, d. h. er kann weder steigen noch sinken. Man sagt von einem solchen Körper, er schwimme. Haben die Buchstaben v, s, V, S die obigen Bedeutungen, so hat man für einen schwimmenden Körper

$$1) \dots v \times s = V \times S, \text{ und daher } 2) \dots v = \frac{V \times S}{s},$$

worin die Gesetze enthalten sind:

a) *Das Gewicht eines auf einer Flüssigkeit schwimmenden Körpers ist gleich dem Gewichte der von ihm verdrängten Flüssigkeit.*

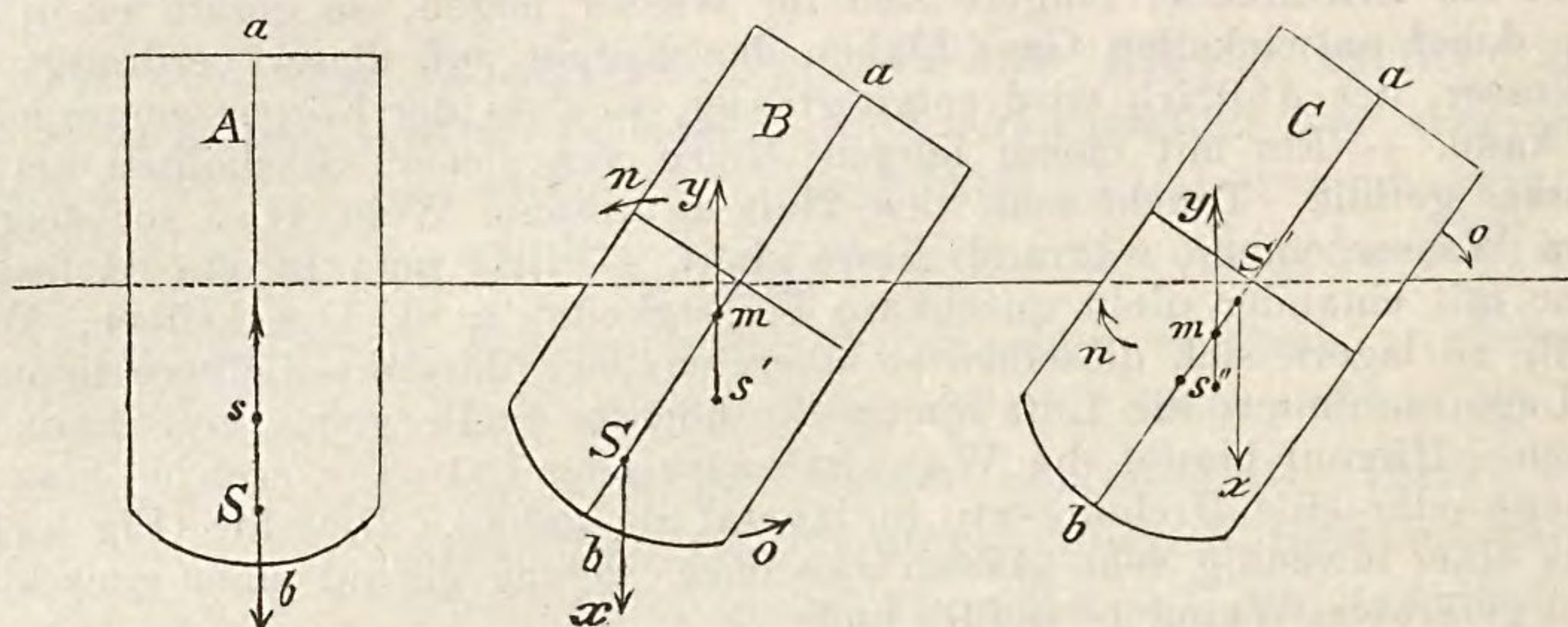
b) *Das eingetauchte Volumen eines schwimmenden Körpers wird um so grösser, je kleiner das specifische Gewicht oder die Dichte der Flüssigkeit ist, auf welcher derselbe schwimmt.*

Ein Korkstück sinkt daher im Weingeist mehr als im Wasser, ein Schiff im Flusswasser tiefer als im Meerwasser ein.

Wird ein Körper (Fig. 172), dessen Masse um die Gerade ab der sogenannten Symmetrielinie, gleichmässig vertheilt ist, aus der Gleichgewichtslage A in die Lage B verschoben, so fallen der Schwerpunkt S des Körpers und der Schwerpunkt s der verdrängten Flüssigkeit

sigkeit nicht mehr in dieselbe Verticale, sondern s rückt z. B. nach s' , weil nun rechts von $a b$ mehr Wasser verdrängt wird als links. Der Auftrieb, welcher jetzt in s' angreift und in der verticalen $s'y$

Fig. 172.



wirkt, und das Gewicht des Körpers, welches in der verticalen Sx zieht, suchen den Körper im Sinne der Pfeile n, o zu drehen; der Körper wird daher nach einigen Schwankungen wieder in die alte Lage zurückkehren. Liegt jedoch der Schwerpunkt des Körpers in S' und wird der Körper in die Lage C verschoben, wobei der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit nach s'' zu liegen kommen mag, so wird der Körper in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung n, o , d. i. im Sinne der verschiebenden Kraft gedreht, so dass er umschlägt. Aus der Figur 172 ist zu ersehen, dass im ersten Falle der Punkt m , in welchem die Symmetrielinie ab von der Richtung des Auftriebes geschnitten wird, d. i. das Metacentrum über, im zweiten Falle aber unter dem Schwerpunkte des schwimmenden Körpers liegt. Wir erhalten also das Gesetz:

Ein Körper schwimmt auf einer Flüssigkeit stabil oder labil, je nachdem das Metacentrum über oder unter dem Schwerpunkte des Körpers liegt. Das erstere tritt um so sicherer ein, je tiefer der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers liegt.

Bei Beladung der Schiffe werden die gewichtigeren Gegenstände in die untersten Räume gelegt; in Schiffe, welche keine Waaren führen, nimmt man Ballast auf, um die Gefahr des Umschlagens zu verringern.

Ein massiver Glasstab, ein eiserner Nagel sinken im Wasser unter; verbindet man diese Körper mit einem entsprechend grossen Kork, so schwimmen sie auf dem Wasser. — Ein Reagensröhrchen mit dem geschlossenen Ende nach abwärts gekehrt, schwimmt auf dem Wasser, selbst wenn es mit Schrott belastet wird.

Man kann also Körper auf einer Flüssigkeit, welche specifisch leichter als jene ist, schwimmen machen, wenn man sie mit solchen Körpern, welche specifisch leichter als die Flüssigkeit sind, verbindet, oder wenn man dieselben zweckmässig aushöhlt.

Hierauf beruht die Anwendung der Schwimmgürtel aus Kork oder Kautschuk; dieselben müssen aber an den oberen Körpertheilen angebracht werden, damit der Kopf über dem Wasser bleibe. Rettungsboote sind mit grossen Korkmassen o. dgl. versehen. Fette Menschen sinken nicht leicht unter, weil das Fett wie ein Korkpanzer wirkt. Kupferne Pontons werden zu Schiffsbrücken benützt; mit Luft

gefüllte Fässer oder Schläuche werden zum Heben versunkener Schiffe verwendet. Solche Schläuche werden auch angewendet, um beladene Schiffe aus dem Meere in das specifisch leichtere Flusswasser weiter zu führen, ohne dass sie unter die Linie einsinken, bis zu welcher sie höchstens eintauchen dürfen. — Es erklärt sich nun auch die Möglichkeit Schiffe aus Eisen anzufertigen. Cartesianischer Taucher. — Das Gewicht des Menschen, insbesondere wenn die Lungen mit Luft gefüllt sind, ist etwas kleiner als das Gewicht eines gleichen Wasservolums. Das Schwimmen käme uns daher sehr leicht an, wenn es nicht Schwierigkeit machen möchte, sich auf das Wasser so zu legen, dass der Kopf immer über, die anderen Körpertheile aber sich unter dem Wasser befinden. — Vierfüßler schwimmen leichter. Die Gefahr des Ertrinkens wird erhöht, wenn man einen Arm oder Fuss aus dem Wasser herausstreckt. Warum? — Weshalb schwimmt man im Meerwasser leichter als im Flusswasser? — Die Fische haben eine Dichte, dass sie im Wasser schweben und besitzen eine mit einem Gase gefüllte Schwimmblase, welche sie nach Belieben erweitern und zusammendrücken können; ersteres thun sie, um im Wasser empor zu steigen, letzteres um in die Tiefe zu gelangen.

122. Bestimmung der Dichte eines Körpers mit der hydrostatischen Wage. Um die Dichte eines festen Körpers zu ermitteln, hängt man ein kleines Stück desselben mittelst eines sehr feinen Drahtes an das Häkchen der einen Schale der hydrostatischen Wage und bestimmt dessen Gewicht P ; sodann taucht man den Körper in reines Wasser vollständig ein und bestimmt seinen scheinbaren Gewichtsverlust p . Da der letztere das Gewicht einer Wassermasse von dem Volumen des Körpers ist, so hat man nach §. 12 die gesuchte Dichte $D = \frac{P}{p}$, d. h.

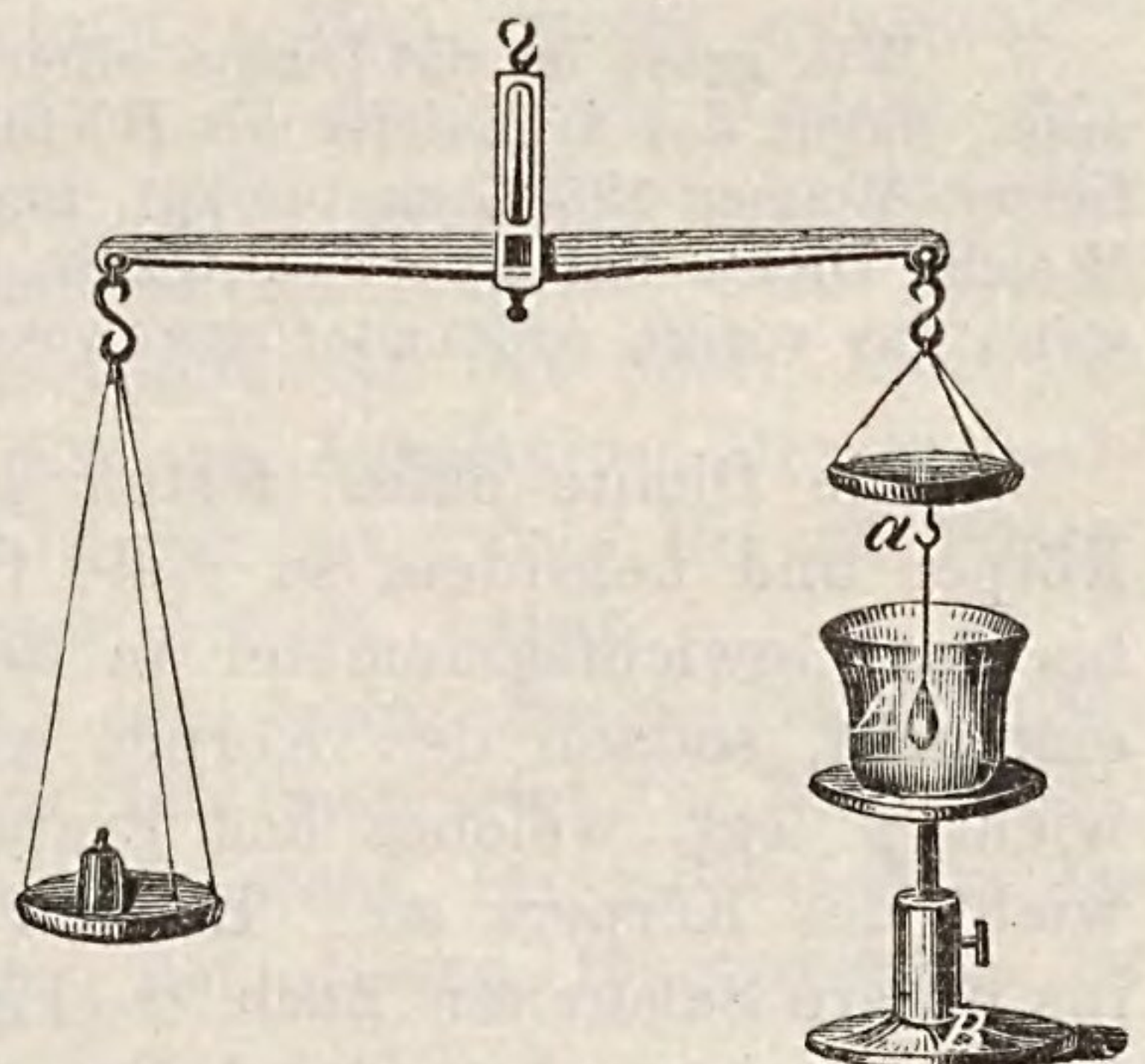
Die Dichte eines festen Körpers findet man, wenn man sein Gewicht durch seinen Gewichtsverlust im reinen Wasser dividirt.

Ist der Körper, wie z. B. Steinsalz, im Wasser löslich, so bestimmt man seinen Gewichtsverlust q in einer Flüssigkeit, von welcher der Körper nicht gelöst wird, z. B. in Naphta. Da die Gewichte zweier Körper von gleichem Volumen sich wie die Dichten verhalten, so hat man $P : q = D : d$, also $D = \frac{P}{q} \cdot d$, worin D und P die vorige Bedeutung haben, d aber die Dichte der angewendeten Flüssigkeit bezeichnet. Wie lautet die letzte Gleichung in Worten? — Körper, welche weniger dicht als Wasser sind, verbindet man mit einem specifisch schwereren Körper, z. B. mit einem Stück Blei, nachdem man vorher das Gewicht und den Gewichtsverlust dieses Körpers im Wasser bestimmt hat.

Um die Dichte einer Flüssigkeit zu bestimmen, hängt man irgend einen Körper, z. B. einen Glastropfen A (Fig. 173), welcher weder vom Wasser noch von der zu untersuchenden Flüssigkeit angegriffen wird, an das Häkchen a und äquilibriert die Wage, sodann bestimmt man den Gewichtsverlust p des Körpers in der zu untersuchenden Flüssigkeit und seinen Gewichtsverlust q im reinen Wasser. Es ist die verlangte Dichte

$$d = \frac{p}{q} \text{ d. h.}$$

Fig. 173.

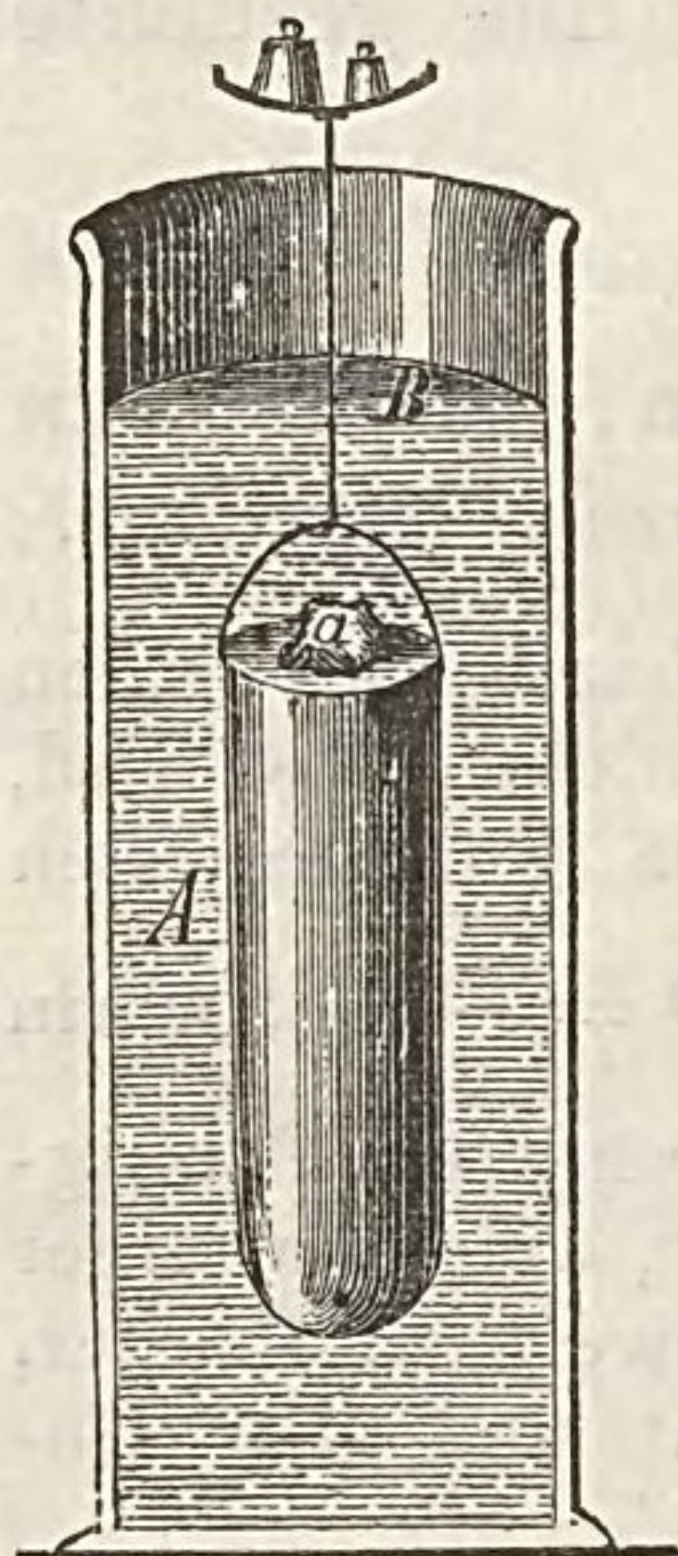


Die Dichte einer Flüssigkeit wird gefunden, wenn man den Gewichtsverlust, welchen irgend ein Körper in der Flüssigkeit erleidet, durch jenen Gewichtsverlust dividiert, welchen derselbe Körper im Wasser erfährt.

Will man das Gewicht der Kubikeinheit z. B. eines Kubikzoll Wasser finden, so wird an das Haken *a* der hydrostatischen Wage ein Würfel, welcher genau einen Kubikzoll fasst, gehängt und sein Gewichtsverlust im Wasser bestimmt; dieser Gewichtsverlust ist das verlangte Gewicht. — Man wendet bei Dichtigkeitsbestimmungen gewöhnlich Wasser von 15° – 20° C. an; auf die Temperatur muss Rücksicht genommen werden, weil mit derselben im allgemeinen die Dichte der Körper zu- und abnimmt.

123. Die Aräometer oder Senkwagen (*araios* = leicht) sind gewisse Instrumente, welche auf Flüssigkeiten stabil schwimmen und zu Dichtigkeitsbestimmungen verwendet werden. Man hat zweierlei Senkwagen, nämlich: Gewichts- und Scalenaräometer. Das *Gewichtsaräometer* besteht aus einem hohlen Cylinder *A* (Fig. 174) von Messingblech, welcher unten abgerundet ist, oben aber eine schalenartige Vertiefung hat und nebstdem an einem Drahte ein Schälchen trägt. An dem Drahte ist eine Marke *B* angebracht, bis zu welcher das Instrument höchstens einsinken darf. Damit das Aräometer stabil schwimme, wird eine entsprechende Menge Schrott in den hohlen Cylinder gegeben.

Fig. 174.



Will man die Dichte einer Flüssigkeit mit Hilfe des Gewichtsaräometers suchen, so taucht man dasselbe in die Flüssigkeit ein und legt auf die obere Schale so viel Gewichte, bis es zur Marke *B* einsinkt. Ist nun *q* dieses Zuleggewicht und *P* das Gewicht des Instruments, so ist $P + q$ das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit. Nun bestimmt man das Gewicht *p*, welches man in das oberste Schälchen legen muss, dass das Aräometer wieder bis *B* im Wasser eintauche; es ist $P + p$ das Gewicht des verdrängten

Wassers. Die gesuchte Dichte ist dann
$$D = \frac{P + q}{P + p}.$$

Wie gross ist die Dichte einer Weingeistsorte, wenn man 44 Gran zulegen muss, damit das Aräometer bis *B* eintauche, während das Zuleggewicht im destillierten Wasser 125 Gran beträgt, und wenn das Aräometer 480 Gran wiegt? — Welche Dichte hat eine Flüssigkeit, für welche das Zuleggewicht 186 Gran ist, wenn das vorige Aräometer angewendet ward?

Die Dichte eines festen Körpers findet man, wenn man den Körper und nebstdem so viele Gewichte auf das obere Schälchen legt, bis das Gewichtsaräometer in destilliertem Wasser bis zur Marke *B* eintaucht, sodann den Körper wegnimmt und an seine Stelle ein Gewicht *p* legt, welches das Eintauchen bis *B* bewirkt. *p* gibt das Gewicht des Körpers an. Hierauf wird *p* weggenommen und der Körper ins untere Schälchen nach *a* (Fig. 174), in die obere Schale aber ein Gewicht *q* gelegt, dass das Aräometer bis *B* im Wasser einsinkt. *q* ist der

Gewichtsverlust des Körpers im Wasser, und daher ist die Dichte des Körpers $d = \frac{p}{q}$.

Ein Stückchen Silber wiege 1047 halbe Gran und es verliere im Wasser am Gewichte 100 halbe Gran, welches ist die Dichte des Silbers?

Die *Scalenaräometer* beruhen auf dem Satze, dass ein Körper 2, 3, 4mal tiefer einsinkt, wenn die Dichte der Flüssigkeit, in welches er eingetaucht wird, 2, 3, 4mal kleiner ist (vgl. §. 121). Dieselben bestehen aus einer cylindrischen Glasröhre (Fig. 175), welche bisweilen auch mit einer birnförmigen Erweiterung (Fig. 176) versehen ist; im Innern der Röhre befindet sich ein getheilter Papierstreifen, die Scala, an welcher man den Punkt, bis zu welchem das Instrument in einer Flüssigkeit eintaucht, ablesen kann. Es sei die Röhre (Fig. 175) in gleiche Volumtheile getheilt und es befände sich in a so viel Quecksilber oder Schrott, dass das Instrument im destillierten Wasser gerade bis zum Theilstrich 100 einsinke. Taucht nun das Instrument in einer Flüssigkeit z. B. bis 125 ein, so hat man die Proportion $d : 1 = 100 : 125$, wenn d die Dichte der zweiten Flüssigkeit und 1 jene des Wassers bedeutet. Es ist daher die Dichte der untersuchten Flüssigkeit

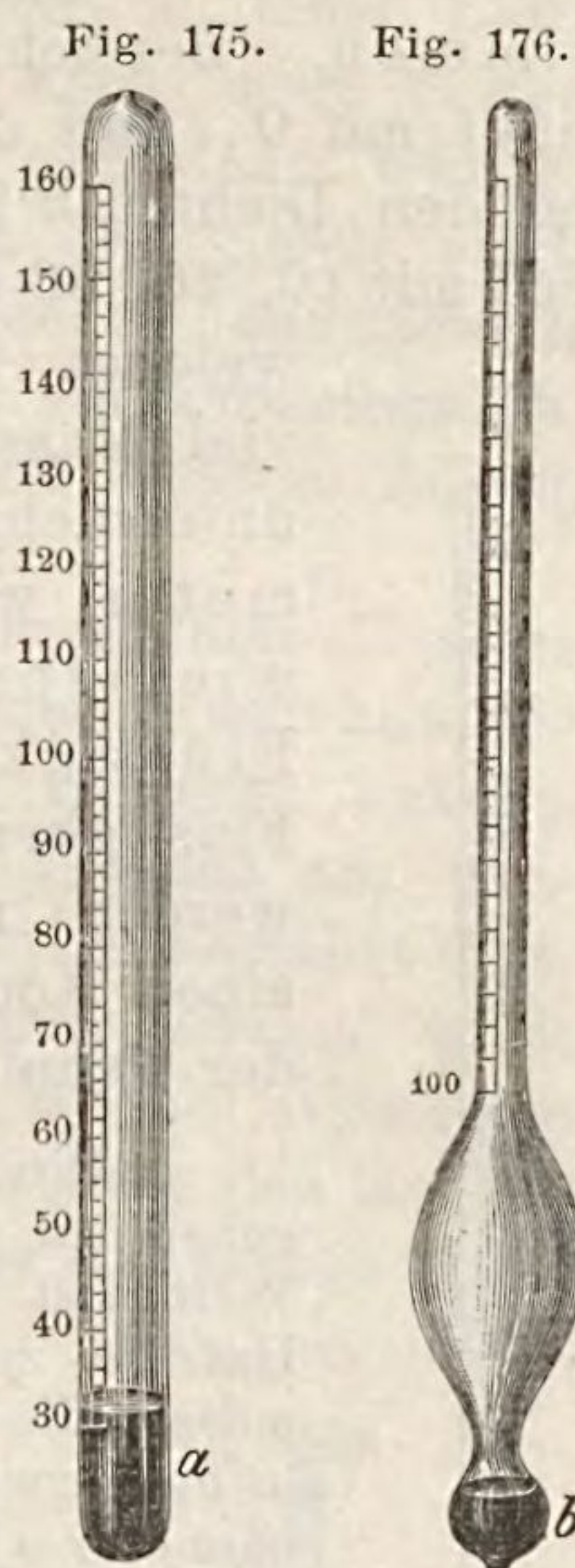
$$d = \frac{100}{125} = 0.8.$$

$$\text{Taucht das Instrument in Schwefelsäure nur bis 80 ein, so ist ihre Dichte } d = \frac{100}{80} = 1.25.$$

Mit einem solchen Aräometer welches gewöhnlich *Volumeter* genannt wird, findet man also die Dichte einer Flüssigkeit wenn man die Zahl 100 durch jene Zahl dividirt, bis zu welcher das Instrument in der zu untersuchenden Flüssigkeit einsinkt.

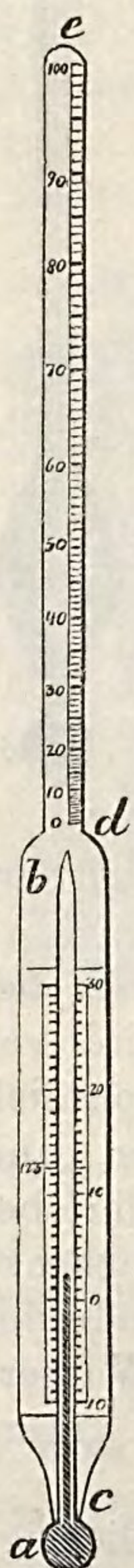
Den Punkt, bis zu welchem das Volumeter im reinen Wasser bei 14° R. eintaucht, nennt man den Wasserpunkt; dieser wird vor allem bestimmt und mit 100 bezeichnet. Man macht gewöhnlich zweierlei Volumeter, solche für Flüssigkeiten, die dichter als Wasser, und solche für Flüssigkeiten, welche weniger dicht als Wasser sind; bei den ersteren wird die in a und b befindliche Schrott- oder Quecksilbermenge so reguliert, dass der Wasserpunkt an das obere Ende der Röhre fällt, während bei der zweiten Art von Aräometern der Wasserpunkt nach unten wie z. B. in Fig. 176 verlegt wird. Die zu untersuchende Flüssigkeit soll die Temperatur 14° R. haben.

Man hat auch solche Aräometer, an deren Scala die Dichtigkeiten unmittelbar verzeichnet sind, so dass man nur die Zahl abzulesen braucht, welche an jenem Theilstriche steht, bis zu welchem das Instrument in der Flüssigkeit einsinkt. Bei diesen Instrumenten ist der Wasserpunkt mit 1 bezeichnet.



Werden zwei Flüssigkeiten von verschiedener Dichte gemischt, so hängt die Dichte der Mischung von den Mengen ihrer Bestandtheile ab. So hat z. B. reines Wasser bei 15° C. die Dichte 0.9991; eine Mischung von 90 Maass Wasser und 10 Maass Alkohol, dessen Dichte bei 15° C. 0.7941 ist, hat die Dichte 0.9857, 80 Maass Wasser und 20 Maass Alkohol geben die Mischung von 0.9750 Dichte, 10 Theile Wasser und 90 Theile Alkohol haben zusammen gemischt die Dichte 0.8338. Man kann daher aus den Dichten einer Mischung auf die Mengenverhältnisse ihrer Bestandtheile zurückschliessen, und daher mittelst eines Aräometers den Gehalt der Mischung an einem gewissen Bestandtheile bestimmen. Bezeichnet man z. B. an einem Aräometer den Wasserpunkt mit 0, und die Punkte, bis zu welchen es sich in Flüssigkeiten von den Dichten 0.9857, 0.9750, 0.9645 u. s. w. eintaucht, der Reihe nach mit 10, 20, 30 u. s. w., so erhält man ein sogenanntes *Alkoholometer*,

Fig. 177.



welches in Weingeist bei 15° C. eingesenkt angibt, wie viel Maass Alkohol von 0.7941 Dichte in 100 Maass des untersuchten Weingeistes enthalten sind. Solche Aräometer, welche angeben, wie viel Volum- oder Gewichtsprocente eines gewissen Bestandtheils eine Flüssigkeit enthält, heissen *Procentenaräometer*. Für jede Flüssigkeit müssen besondere Procentenaräometer angefertigt werden; man hat daher Salzspindeln, welche den Salzgehalt einer Kochsalzlösung angeben, Laugenspindeln, durch welche der Gehalt an Pottasche bestimmt wird u. s. w.

Die Alkoholometer, welche in Oesterreich im Gebrauche sind, geben an, wie viel Maass Alkohol von 0.7939 Dichte in 100 Maass Weingeist bei der Normaltemperatur von 12.5° R. enthalten sind. Hat die zu untersuchende Flüssigkeit eine andere Temperatur, so müssen die Angaben des Alkoholometers verbessert werden. Es ist daher in dem erweiterten Theile *cd* (Fig. 177) des Alkoholometers ein Thermometer *ab* angebracht, an dessen Scala die Normaltemperatur mit 0 bezeichnet ist. Die über und unter diesem Nullpunkt stehenden Zahlen müssen von der an der Scala *de* abgelesenen Zahl abgezogen oder zu derselben addiert werden, je nachdem das Thermometer über oder unter 0 zeigt.

Die Angaben der Aräometer, welche zur Prüfung des Bieres, Weines, der Milch dienen, sind nicht verlässlich, weil die Güte dieser Flüssigkeiten nicht allein von ihrer Dichte abhängt. — Es ist auch noch die Aräometerscala von Beaumé gebräuchlich; dieselbe gibt weder den Procentgehalt noch die Dichte der Flüssigkeiten an und besteht aus ganz willkürlichen Graden. Die Scala für Flüssigkeiten, die weniger dicht als Wasser sind, wird angefertigt, indem man zuerst den Wasserpunkt und dann den Punkt bestimmt, bis zu welchem das Instrument in einer Salzlösung von 90 Th. Wasser und 10 Th. Kochsalz eintaucht; der Abstand dieser zwei Punkte wird in 10 gleiche Theile getheilt und die Theilung fortgesetzt. Der Wasserpunkt erhält die Zahl 10. Bei Instrumenten für dichtere Flüssigkeiten wird eine Salzlösung von 85 Th. Wasser und 15 Th. Kochsalz verwendet und der Abstand dieses Eintauchungspunktes vom Wasserpunkte in 15 gleiche Theile getheilt; der Wasserpunkt wird hier mit 0 bezeichnet.

X. VON DEN LUFTFÖRMIGEN KÖRPERN.

124. Messung des Luftdruckes. *Die luftförmigen Körper haben die absolut leichte Beweglichkeit ihrer Theilchen sowohl, wie auch die Schwere mit den tropfbaren Flüssigkeiten gemeinsam, und befolgen daher auch gewisse Gesetze, welche wir in Betreff der tropfbar flüssigen Körper kennen gelernt haben. So pflanzt sich in einer Luftmasse ein nach einer Richtung ausgeübter Druck nach allen Seiten ungeschwächt fort; so herrscht in einer Luftmasse nur dann Gleichgewicht, wenn jedes Lufttheilchen nach allen Seiten hin gleich stark gedrückt wird. Die luftförmigen Körper besitzen jedoch andererseits wieder besondere Eigenschaften, nämlich die grosse Zusammendrückbarkeit und die Ausdehnbarkeit, woraus für sie auch Gesetze folgen, welche für die tropfbaren Flüssigkeiten nicht gelten.*

Bevor wir die den gasartigen Körpern eigenthümlichen Gesetze ermitteln, müssen wir vorerst den Druck messen lernen, welchen die unsere Erde umgebende Atmosphäre vermöge ihrer Schwere ausübt. (Vgl. §. 13.) Zu diesem Zwecke stellen wir einen Versuch an, welchen Torricelli, ein Schüler Galilei's, 1643, zuerst ausgeführt hat, und welcher Versuch daher gewöhnlich der Torricelli'sche genannt wird.

Stellt man eine nicht zu enge, beiderseits offene Glasröhre (Fig. 178) in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss, so steht das Quecksilber in und ausserhalb der Röhre gleich hoch; denn das Ganze stellt ein Communicationsgefäss vor. Über dem Quecksilberniveau ab ist Luft gelagert, diese drückt auf ab abwärts, der Druck pflanzt sich im Quecksilber fort, so dass mn ebenso stark nach aufwärts, wie ein gleiches Flächenstück von ab ausserhalb der Röhre nach abwärts gedrückt wird. Da nun aber mn ebenso stark unmittelbar von der Luft nach abwärts gedrückt wird, so heben sich die beiden Drucke auf, wesshalb das Quecksilber weder sinkt noch steigt. Würde aber nur auf das äussere Niveau ab gedrückt, was der Fall wäre, wenn über mn in der Röhre alle Luft entfernt wäre, so müsste das Quecksilber in der Röhre steigen, bis der Druck der über dem äusseren Niveau erhobenen Quecksilbersäule dem äusseren Drucke das Gleichgewicht hält.

Versuch. Es werde eine nicht zu enge, etwa 32" lange Glasröhre R (Fig. 179), welche an einem Ende mit dem Hahne h verschliessbar ist, vollständig mit

reinem Quecksilber gefüllt, und nachdem die zweite Öffnung mit dem Finger verschlossen worden, umgekehrt in das Quecksilber des Gefässes

Fig. 179.

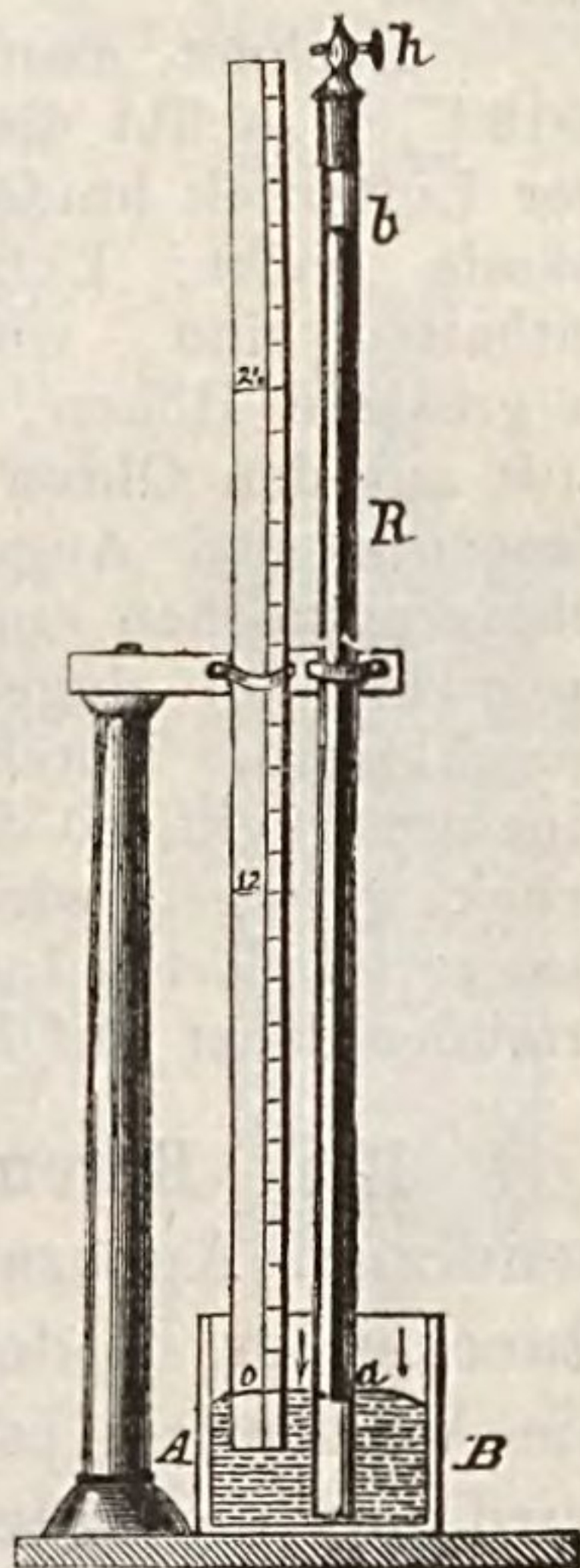
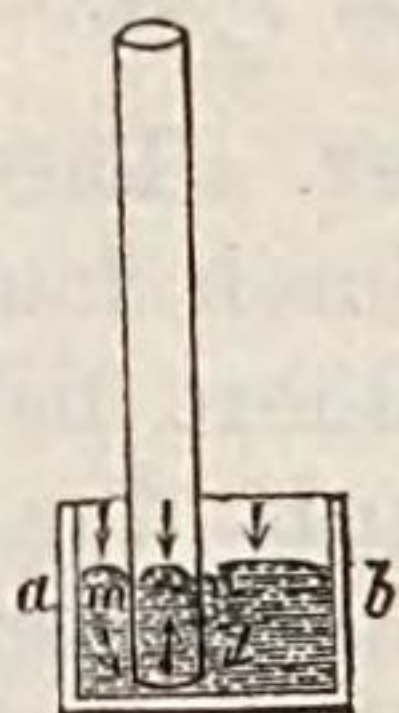


Fig. 178.



AB eingetaucht und neben einem in Zolle getheilten Maasstab vertical aufgestellt. Sobald man nun den Finger von der unteren Öffnung wegzieht, sinkt das Quecksilber in R ; es bleibt jedoch eine Quecksilbersäule ab von etwa 28" Höhe über dem äussern Niveau erhoben. Da durch die Füllung mit Quecksilber die Luft aus der Röhre entfernt worden ist, so ist der Raum oberhalb b in der Röhre luftleer; man nennt diesen Raum die Torricelli'sche Leere. Es wirkt somit bloss auf die äussere Oberfläche AB der Druck der Luft, und diesem Drucke wird durch den entgegengesetzten Druck der Quecksilbersäule ab das Gleichgewicht gehalten.

Der Druck, welchen die Atmosphäre in Folge ihrer Schwere auf einen Quadratzoll ausübt, ist gerade so gross wie der Druck, welcher von einer 28" hohen Quecksilbersäule auf einen Quadratzoll ausgeübt wird. Nun wiegt ein Kubikzoll Quecksilber nahe 14.2 Loth; somit drückt eine Quecksilbersäule von 28" Höhe mit dem Gewichte von $28 \times 14.2 = 397.6$ Loth, wofür man annäherungsweise 12.5 Pfd. nimmt.

Die atmosphärische Luft übt also auf den Quadratzoll einen Druck von 12.5 Pfd. aus. Dieser Druck wird *eine Atmosphäre* genannt.

Der verticale Abstand der in der Röhre befindlichen Oberfläche vom äussern Niveau bleibt derselbe, wenn auch die Röhre geneigt wird; bei einer gewissen Neigung bleibt die Röhre ganz mit Quecksilber gefüllt. — Wird der Hahn h geöffnet, so fällt das Quecksilber in R bis zum äussern Niveau; ein Beweis, dass vorhin der auf AB lastende Luftdruck die Quecksilbersäule in der Höhe erhalten hat. — Da eine Wassersäule von 28" Höhe und 1 □" Basis 13.6mal weniger wiegt als eine gleiche Quecksilbersäule, so wird der Luftdruck einer Wassersäule von 28×13.6 Zoll oder von nahe 32 Fuss Höhe das Gleichgewicht halten.

Rechnet man die Oberfläche eines erwachsenen Menschen zu $14 \text{ □}' = 2016 \text{ □}''$, so übt die Luft auf denselben einen Druck von 2016×12.5 Pfd. aus. Der Luftdruck hindert unsere Bewegungen nicht, weil er von allen Seiten gleichmässig wirkt; Luft und Flüssigkeiten, welche im Innern unseres Körpers enthalten sind, wirken dem äusseren Drucke entgegen. Kommt der Mensch in grössere Höhen, wo der Luftdruck schon sehr abgenommen hat, so tritt Luft aus den Ohren heraus, was Ohrenstechen erzeugt; auch dringt Blut aus der Nase und den Augen hervor. (Vgl. §. 13). — Der Oberschenkel- und der Oberarmknochen endigen mit einem kugelförmigen Knopfe, welcher in eine Höhlung (Pfanne) eingelenkt ist; diese Höhlung ist mit einer Membran luftdicht verschlossen. Durch den äusseren Luftdruck wird der Knopf in die Pfanne fest hineingedrückt, so dass das Gewicht des gehobenen Beines und Armes vom Luftdruck getragen wird. Kommt man aber auf hohe Berge, so müssen wegen des verminderten Luftdruckes die Muskeln den Schenkel zum Theile tragen; man ermüdet daher auf hohen Bergen leichter als im Thale.

125. Barometer. Lässt man den beim Torricelli'schen Versuch benutzten Apparat durch längere Zeit stehen, so findet man dass das Quecksilber in der Röhre bald steigt, bald fällt. Hieraus muss auf die Veränderlichkeit des Luftdruckes geschlossen werden. Denn wird auf die Quecksilberoberfläche AB (Fig. 179) stärker gedrückt, so muss das Quecksilber im Gefässe sinken, in der Röhre aber steigen, weil dem stärkeren Drucke nur durch eine höhere Quecksilbersäule das Gleichgewicht gehalten werden kann; wird der Druck auf AB

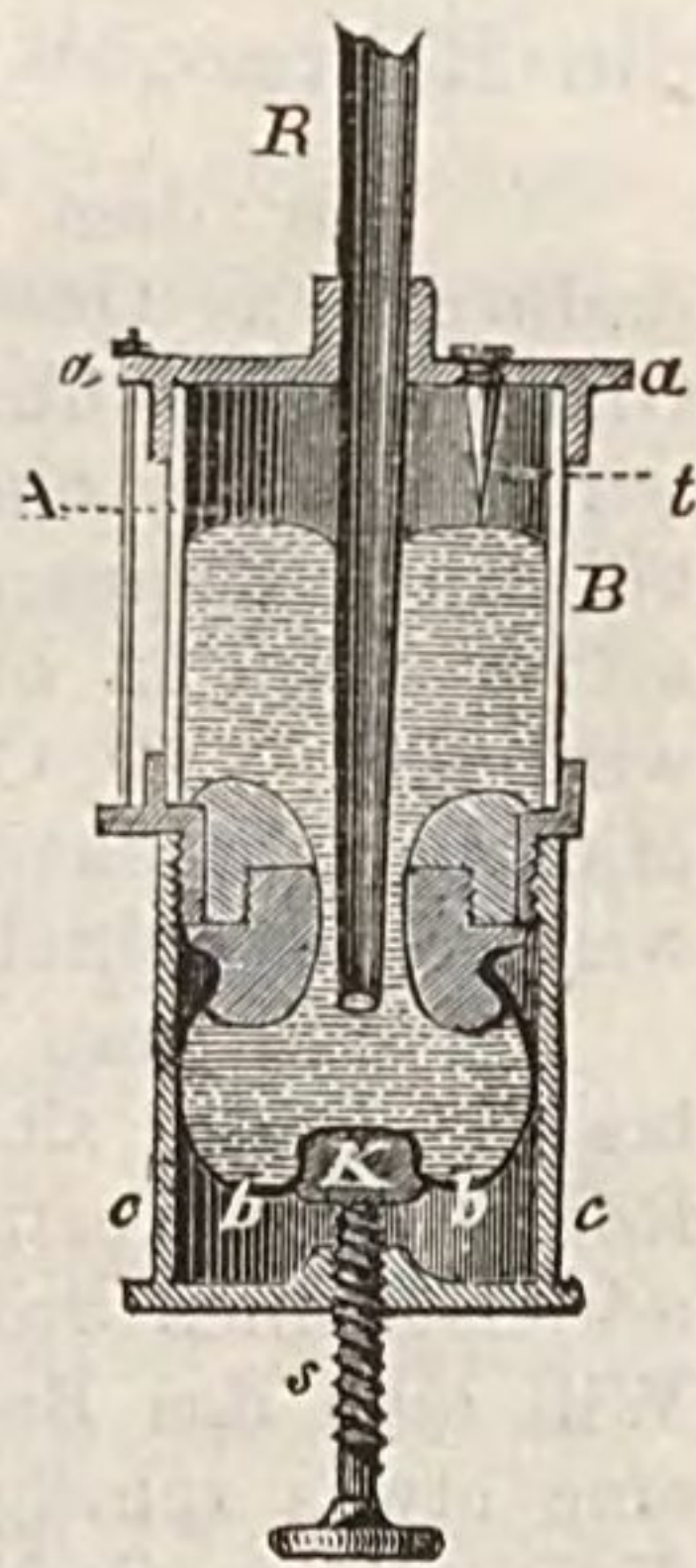
kleiner, so geschieht gerade das umgekehrte. Man kann also mit Hilfe des obigen Apparates den jeweiligen Luftdruck bestimmen; jedes hiezu geeignete Instrument wird ein *Barometer* (vom griech. baros = Schwere und metron = Maass) genannt. Die Höhe der Quecksilbersäule, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, heisst Barometerstand; dieser nimmt dem oben Gesagten zufolge mit dem Luftdrucke zu und ab.

Bei dem Barometer muss die Torricelli'sche Leere vollkommen luftleer, der Maassstab mit grösster Genauigkeit getheilt und das Quecksilber chemisch rein sein.

Die an einem Ende zugeschmolzene Röhre ist gewöhnlich 32" lang und soll nicht unter zwei Linien weit sein. Die Barometerrohre muss im innern sehr gut gereinigt sein, zu welchem Zwecke sie zuerst mit kochender Salpetersäure und nachher mit Wasser wiederholt ausgespült wird. Um das Barometer möglichst luftleer zu machen, wird es ausgekocht, indem man erwärmtes Quecksilber in kleinen Mengen in die Röhre bringt und es nachher noch stark erhitzt. Ist in der Torricelli'schen Leere keine Luft enthalten, so schlägt das Quecksilber beim Neigen des Rohres mit hellem Klange an die Kuppe des Rohres an. — Das käufliche Quecksilber ist gewöhnlich mit anderen Metallen z. B. mit Blei verunreinigt, wesshalb es nicht die Dichte 13.6 hat; nimmt aber die Dichte des Quecksilbers ab, so gehört eine höhere Quecksilbersäule dazu, um dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten, und umgekehrt. Das Quecksilber wird behufs der Reinigung zuerst mit verdünnter Salpetersäure und nachher mit destilliertem Wasser wiederholt geschüttelt, sodann mit Filtrirpapier gut getrocknet und filtrirt. — Der Maassstab oder die Scala besteht aus Metall und ist entweder in Wiener oder Pariser-Zolle und Linien, oder auch in Millimeter getheilt.

Man gibt dem Barometer verschiedene Einrichtungen. Die meiste Ähnlichkeit mit dem beim Torricelli'schen Versuche angewendeten Apparate hat das von Fortin herrührende *Gefässbarometer*. Dasselbe besteht aus einem hohlen Glaszylinder *A B* (Fig 180), welcher oben mit einer Metallfassung *a a* versehen ist, die in der Mitte durchbohrt ist, um das Barometerrohr *R* so durchzulassen, dass zwar Luft in den Glaszylinder gelangen, aber kein Quecksilber heraustreten kann. Unten ist der Glaszylinder mit einem Lederbeutel *b b* verschlossen, gegen welchen die in einer Metallfassung *c c* angebrachte Schraube *s* mit dem Knopfe *k* drückt. Der Glaszylinder ist bis zu einer gewissen Höhe mit reinem Quecksilber gefüllt; dieses steigt oder fällt, je nachdem *s* auf- oder abwärts bewegt wird. Man kann daher die Quecksilberoberfläche im Gefässe immer so stellen, dass sie von der Spitze des Elfenbeinkegels *t*, welcher in der Fassung *a* angebracht ist, gerade berührt wird. Von dieser Spitze aus wird der Barometerstand gemessen; diese Spitze bildet also den Nullpunkt der Barometerscala. Die Scala selbst ist auf einer Messinghülle verzeichnet, welche das Barometerrohr schützend umgiebt und an jener Stelle, wo das Quecksilber auf- und abschwankt, mit zwei gegenüberliegenden Spalten versehen ist, um den Stand der Quecksilberkuppe im Rohre genau wahrnehmen zu können. Will man den Barometerstand ablesen, so stellt man zuerst die Queck-

Fig. 180.



silberoberfläche im Gefässe ein und sieht nachher, was für ein Theilstrich der Scala von der horizontalen Ebene, welche den höchsten Punkt der convexen Quecksilberoberfläche im Rohre berührt, getroffen wird. Um das Auge richtig einzustellen sind an der Hülse mancherlei Vorrichtungen angebracht.

Zu den Gefässbarometern gehört auch das sogenannte *Birnbarometer* (Fig. 181), bei welchem ein ziemlich weites birnförmiges Gefäss mit der Barometerröhre unmittelbar verbunden ist. Das Barometer ist

Fig. 181.

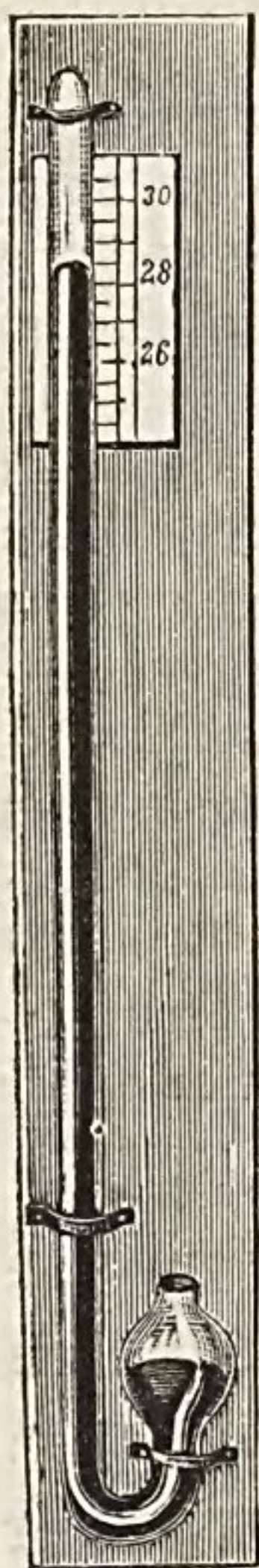
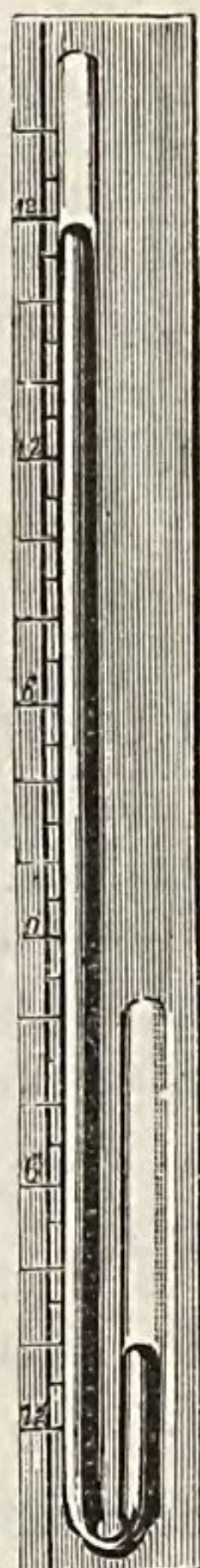


Fig. 182.



an einem Brette befestigt, das Gefäss in einem Kästchen eingeschlossen. Ist das Gefäss im Verhältnis zur Röhre ziemlich weit, so sinkt oder steigt in ihm das Quecksilber bei einer Änderung des Luftdruckes nur sehr wenig, so dass man dort, wo es auf keine genauen Messungen ankommt, den Stand des Quecksilbers im Gefässe als unveränderlich ansehen kann. Man befestigt daher einen Theil einer Scala am Brette derart, dass ihr Nullpunkt bei einem Barometerstande von 28" in das Quecksilberniveau des Gefässes fällt.

Das *Heberbarometer* (Fig. 182) besteht aus einer gebogenen Glasröhre, deren Schenkel dort, wo das Quecksilber auf- und abschwankt, gleich weit sein sollen. Der Abstand der Quecksilberkuppe im längeren Schenkel von jener im kürzeren Schenkel ist der Barometerstand; derselbe lässt sich genau ablesen, wenn die Scala aus zwei Theilen besteht, deren gemeinschaftlicher Nullpunkt etwa in der Mitte der Röhre liegt. Man braucht nur die Abstände der beiden Quecksilberkuppen vom Nullpunkte zu addieren um den genauen Barometerstand zu erhalten. Die im kürzeren Schenkel angebrachte feine Öffnung gestattet der Luft den Zutritt in die Röhre.

Vor dem Ablesen des Barometers klopft man etwas an die Röhre, um dadurch das Quecksilber zu erschüttern, damit es den Reibungswiderstand am Glase leichter überwinde und den rechten Stand einnehme. — Das Quecksilber wird im Falle einer Temperatursteigerung specifisch leichter, es wird daher z. B. bei einer Temperatur von 20° C. der Barometerstand grösser ausfallen als bei 0°, selbst wenn in beiden Fällen der Luftdruck derselbe geblieben wäre. Umgekehrt wird bei — 8° C. die Quecksilbersäule im Barometer niedriger als bei 0° sein. Man bezieht daher den Barometerstand gewöhnlich auf die Temperatur von 0°, was immer mittelst einer leichten Rechnung möglich ist.

Will man das Barometer transportieren, so neigt man dasselbe langsam, bis die Röhre sich ganz mit Quecksilber gefüllt hat, und verschliesst dann die Röhre beim Fortin'schen Barometer mit Hilfe der Schraube *s*, beim Birnbarometer mittelst eines Stöpsels. Hierauf kann das Barometer ganz umgekehrt werden. Will man das Barometer wieder irgendwo aufhängen, so bringt man es zuerst in eine etwas schräge Lage, öffnet langsam die Röhre und bringt diese allmähig in die verticale Stellung.

Die Kenntniss des jeweiligen Luftdruckes ist von grosser Wichtigkeit, weil derselbe mit den Witterungsverhältnissen im innigsten Zusammenhange steht. Steigt z. B. in der über einem Orte gelagerten

Luftmasse die Temperatur, so dehnt sich die Luft aus und strömt theilweise in die kältere Nachbarschaft; dort wird also das Barometer „sinken,“ hier dagegen „steigen.“ Eine Temperaturerniedrigung hat im allgemeinen eine Erhöhung des Barometerstandes zur Folge. Nebstdem übt die Spannkraft der in der Luft enthaltenen Dünste einen grossen Einfluss auf den Stand des Barometers aus; indem dieser mit der Spannkraft der Dünste zu- und abnimmt. Jahrelange Beobachtungen haben ferner gezeigt, dass die Änderungen im Barometerstande mit den Windrichtungen auf das innigste zusammenhängen. Im allgemeinen steht das Barometer am höchsten bei Nordostwind, sinkt bei Ost-, Südost- und Südwind mehr und mehr; der Barometerstand ist am kleinsten bei Süd- und Südwestwinden, und wird wieder allmählig grösser, wenn der Wind sich durch West, Nordwest und Norden gegen Osten hin dreht. Im Zusammenhange mit der Drehung des Windes, welche auf der nördlichen Erdhälfte in dem angegebenen Sinne, auf der südlichen Halbkugel aber in entgegengesetzter Richtung (von Süden nach Osten, Norden, Westen, Süden) erfolgt, ändert sich aber das Wetter. So erzeugen im mittleren Europa Süd- und Südwestwinde in der Regel Regen, weil sie warme, feuchte Luft bringen, deren Dunst in den kälteren Luftschichten zu Regenwolken verdichtet werden. Der Nordostwind hingegen führt kalte, trockene Luft und erzeugt daher im allgemeinen einen heiteren, wolkenfreien Himmel. Man sieht hieraus, dass bei uns dem hohen Barometerstande in der Regel schönes, dem niedrigen aber regnerisches Wetter entspricht. Weil der in den oberen Luftregionen wehende Wind sich gewöhnlich früher dreht, als die untere Luftströmung, so steigt oder fällt das Barometer schon, während der untere Wind noch in unveränderlicher Richtung weht; daher zeigt das Barometer gewissermassen im vorhinein den Witterungswechsel an. Ein plötzliches starkes Fallen des Barometers kündigt heftige Stürme an. Aus diesen Gründen wird das Barometer im gewöhnlichen Leben als „Wetterglas“ verwendet; an der Scala desselben sind die Bezeichnungen: gutes Wetter, veränderliches Wetter, Regen, Sturm angeschrieben. Aus dem oben Gesagten ist jedoch zu erkennen, dass man jedesmal die Richtung des herrschenden Windes beachten muss, um aus dem Barometerstande einen halbwegs wahrscheinlichen Schluss auf das Wetter ziehen zu können. Obgleich z. B. beim Nordostwinde das Barometer steigt, so ist er doch häufig mit Regen verbunden, weil die eintretende Kälte bedeutende Niederschläge erzeugt.

Der Barometerstand ändert sich übrigens an demselben Orte auch unabhängig von der Windrichtung mit einer gewissen Regelmässigkeit. Diese regelmässigen Barometerschwankungen hängen von den regelmässigen täglichen und jährlichen Temperaturänderungen ab, sind aber nur sehr klein, während die unregelmässigen von Winden und Niederschlägen herrührenden Änderungen des Barometerstandes oft 19—25 Linien betragen. Wird das Barometer stündlich abgelesen, und werden die einzelnen Beobachtungsergebnisse addiert und durch 24 dividiert, so erhält man den mittleren Barometerstand des Tages. Aus den Tagesmitteln eines Monats findet man den mittleren Barometerstand des Monats, aus den Monatsmitteln den durchschnittlichen Barometerstand des Jahres. (Wie?) Das Tagesmittel erhält man auch sehr genau, wenn man das Barometer um 9 Uhr Morgens, um 12 Uhr, um 3 Uhr Nachmittags und um 9 Uhr Abends abliest und die Summe dieser Barometerstände durch 4 theilt. Der

Barometerstand ist im Winter grösser als im Sommer; er nimmt nach Dove vom Jänner an ab und erreicht im April einen kleinsten Werth; von da wächst er langsam bis September und fällt wieder rasch bis zum November, wo er in der Regel zum zweiten Male einen kleinsten Werth erreicht.

Weil der Siedepunkt einer Flüssigkeit von dem Luftdrucke abhängt (§. 25), so muss auf letzteren bei Bestimmung des Siedepunktes am Thermometer Rücksicht genommen werden. Um die Thermometerscalen übereinstimmend zu erhalten, bezieht man den Siedepunkt der Thermometerscala immer auf den Normalbarometerstand von 760^{mm}. — Wenn man sich über die Meeresfläche erhebt, so nimmt (3. §. 13) der Luftdruck ab. Aus dem Gesetze, nach welchem sich der Luftdruck mit der Erhebung über die Meeresfläche ändert, hat sich die Möglichkeit ergeben, mit Hilfe des Barometers die Erhebung eines Ortes über die Meeresfläche zu messen.

126. Abhängigkeit der Spannkraft. (Vgl. §. 14). Versuch *a*). Ein heberförmig gebogenes Glasrohr (Fig. 183) sei am kürzeren Schenkel *A* bei *a* luftdicht verschliessbar, der längere Schenkel *B* sei

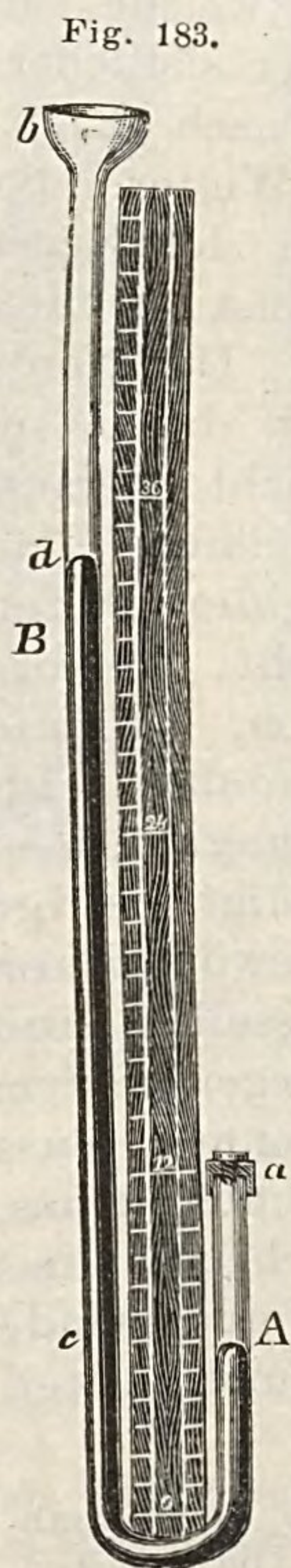


Fig. 183.

bei *b* trichterartig erweitert; beide Schenkel seien mit einem in Zolle getheilten Maassstab verbunden. Man öffne bei *a* und giesse bei *b* Quecksilber ein, so dass es in beiden Schenkeln bis zum Nullpunkte reicht. Verschliesst man jetzt *A* luftdicht, so hat die in *A* enthaltene Luft die Spannkraft der äusseren Luft. Giesst man in *b* Quecksilber bis 34" nach, so findet man, dass das Quecksilber in *A* nur um 6" gestiegen ist, dass also die in *A* enthaltene Luft auf die Hälfte ihres ursprünglichen Volumens zusammengepresst worden ist. Die in *A* befindliche Luft ist daher zweimal dichter als vorhin und ihre Spannkraft hält jetzt dem auf dem Quecksilber in *B* lastenden Luftdrucke und nebstdem noch dem Drucke der Quecksilbersäule $cd = 28"$, also im Ganzen einem Drucke von zwei Atmosphären das Gleichgewicht. Die Spannkraft der in *A* befindlichen Luft ist also jetzt zweimal so gross als ursprünglich. Durch weiteres Nachgiessen von Quecksilber kann man sich überzeugen, dass das Volumen der Luft in *A* bei einem Drucke von 3, 4, ... Atmosphären auf $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, ... des anfänglichen Volumens verkleinert, ihre Dichte und Spannkraft aber 3, 4, ... mal grösser geworden sind. Hierbei blieb aber die Temperatur unverändert. Hieraus ergibt sich das sogenannte Mariotte'sche Gesetz:

Bei gleich bleibender Temperatur ändert sich die Expansivkraft der Luft gerade so wie ihre Dichte.

Dieses Gesetz, welches vom Engländer Boyle (1662) und von dem französischen Physiker Mariotte (1679) entdeckt worden ist, lässt sich auch in Folgendem aussprechen: das Volumen einer Luftmasse ändert sich bei gleichbleibender Temperatur im verkehrten Verhältnisse, ihre Dichte also im geraden Verhältnisse mit dem auf sie ausgeübten Drucke. Dieses Gesetz gilt übrigens auch für die anderen Gase, so lange als diese nicht dem Tropfbarwerden nahe sind.

Die Expansivkraft der Gase hängt ferner von der Temperatur ab, indem sie mit dieser ganz gleichförmig zu- und abnimmt. Man hat gefunden, dass die Expansivkraft der atmosphärischen Luft und nahezu auch aller an-

deren Gase bei unveränderlichem Volumen um $\frac{11}{30}$ jener Spannkraft, welche sie bei 0^0 besaßen, zunimmt, wenn ihre Temperatur von 0^0 auf 100^0 C. erhöht wird. Es hat sich zugleich ergeben, dass bei einer Temperaturänderung von 1^0 C. die Spannkraft um $\frac{11}{30 \times 100}$, d. i. nahe um $\frac{1}{273}$ der anfänglichen Expansivkraft sich ändert. In ganz gleichem Maasse nimmt auch das Volumen einer Gasmasse mit der Temperatur zu und ab, vorausgesetzt, dass das Gas sich ungehindert ausdehnen kann und der auf es ausgeübte Druck stets derselbe bleibt.

Verschiedene Gase haben übrigens bei gleicher Dichte und Temperatur eine verschiedene Spannkraft; so ist z. B. die Spannkraft des Wasserstoffes 14.5 mal grösser als jene der atmosphärischen Luft, wenn beide dieselbe Dichte und Temperatur besitzen. *Die Spannkraft hängt also auch von der materiellen Beschaffenheit der Gase ab.*

127. Einige Apparate, deren Wirkung auf den Gesetzen über den Druck und die Spannkraft der Luft beruht. (Vgl. §§. 13 und 14.) Der Winkelheber besteht aus einer gebogenen Röhre abc (Fig. 184), deren kürzerer Schenkel in die Flüssigkeit getaucht wird, welche man aus einem Gefässe in ein anderes überfüllen will. Saugt man bei c die Luft aus, so füllt sich in Folge des auf die Oberfläche mn wirkenden Luftdruckes die Röhre vollständig und die Flüssigkeit rinnt bei c ununterbrochen heraus bis sie im Gefässe unter a hinabgesunken ist.

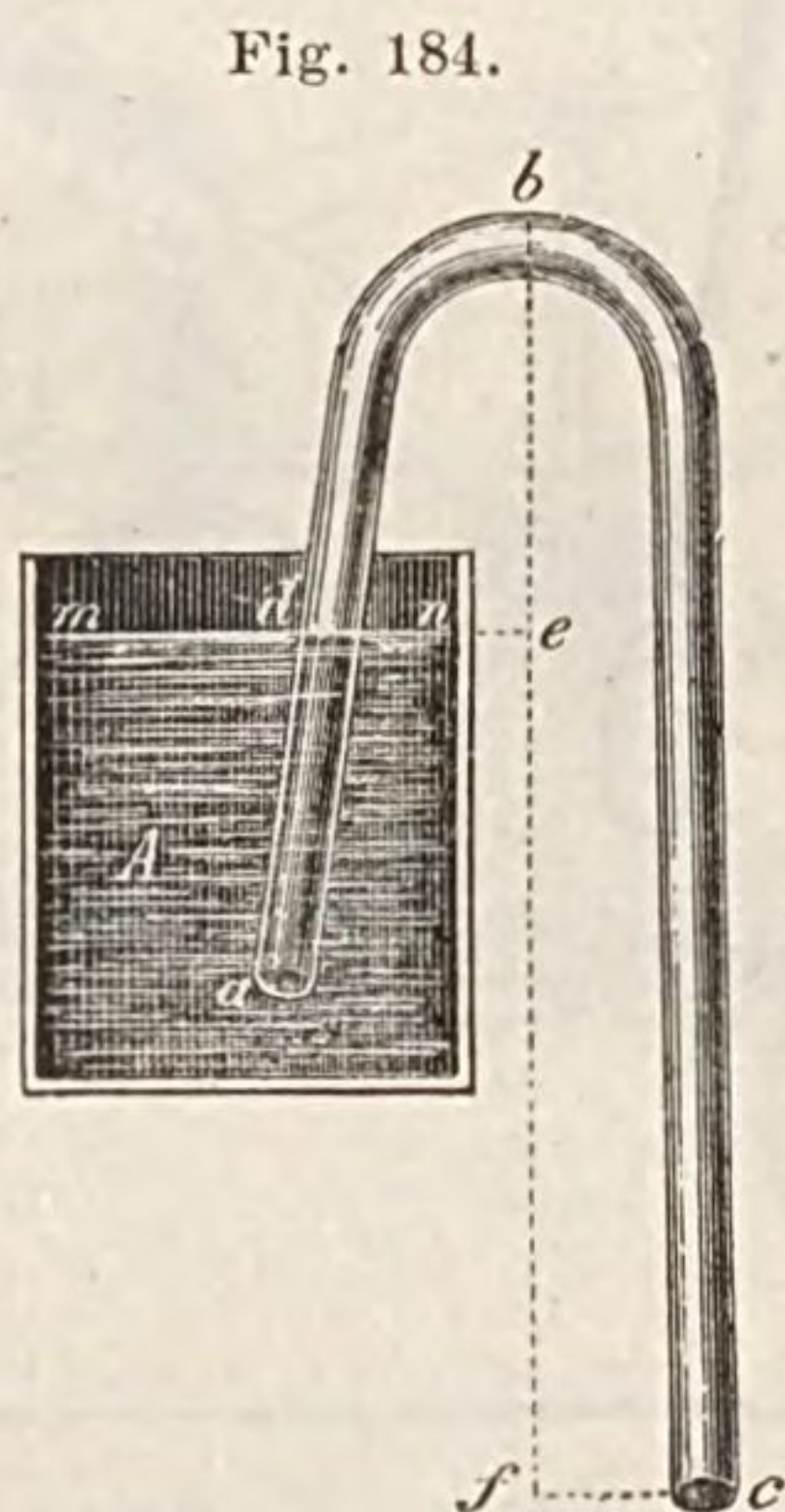


Fig. 184.

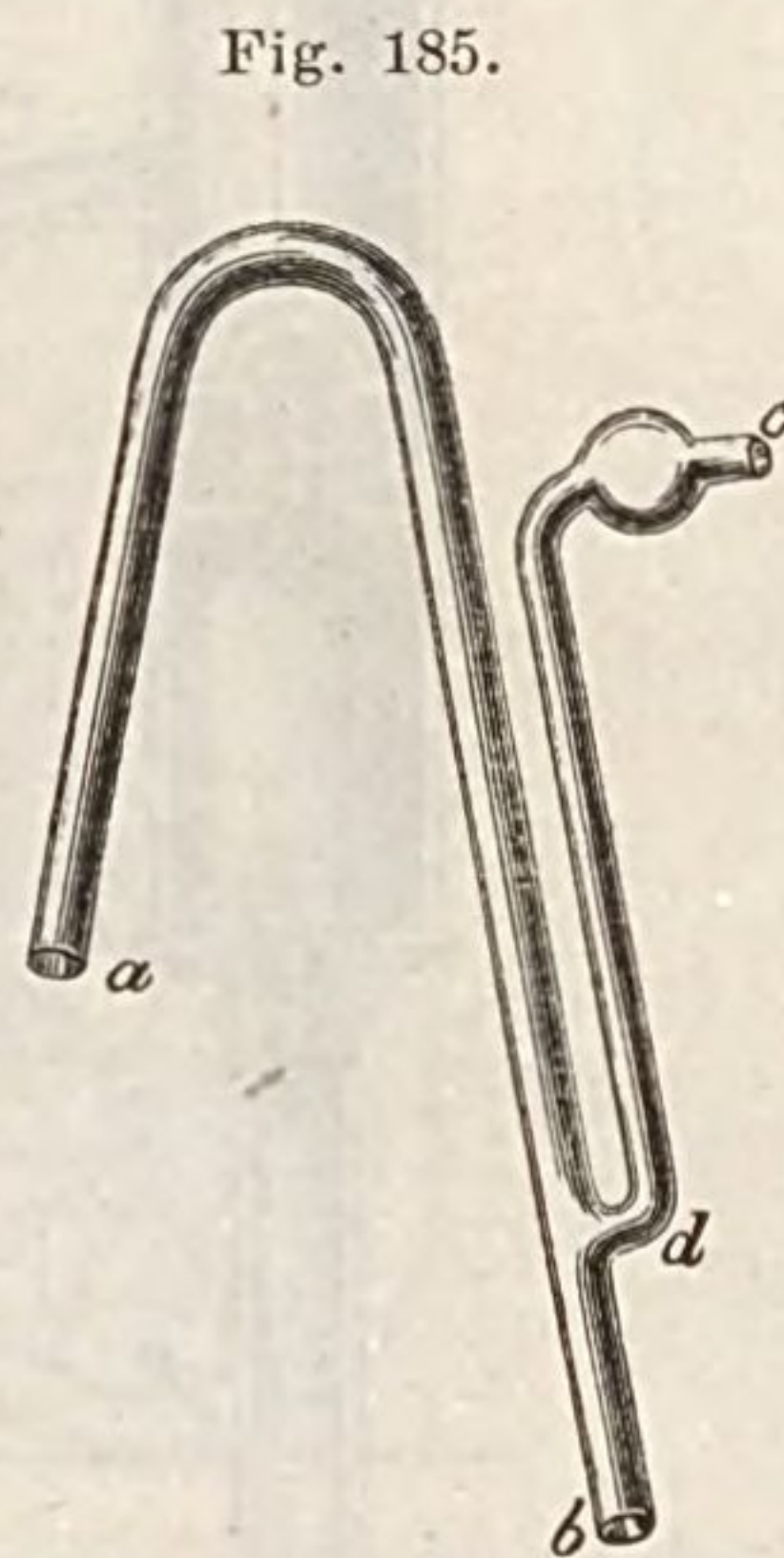


Fig. 185.

Der auf mn wirkende Luftdruck pflanzt sich in der Flüssigkeit fort und sucht diese in der Richtung db zu heben; diesem Drucke wirkt aber die zwischen d und b befindliche Flüssigkeitssäule von der Höhe be entgegen. Bei der Öffnung c drückt jedoch die Luft ebenfalls nach aufwärts und zwar so stark wie auf mn ; dieser Druck bei c wird aber um den Druck der Flüssigkeitssäule zwischen b und c von der Höhe bf geschwächt. Der bei c noch wirksame Druck ist also um den Druck einer Flüssigkeitssäule von der Höhe ef kleiner als jener, welcher in der Richtung ab wirkt; letzterem muss also die Flüssigkeit folgen. Warum fliesst die Flüssigkeit um so schneller aus, je tiefer c unterhalb mn liegt? Was würde die Folge sein, wenn c in der Ebene mn läge? Es sei $be = 32'$ und im Gefässe sei Wasser; wird die Flüssigkeit wohl ununterbrochen fließen? — Um bequem saugen zu können und damit keine Flüssigkeit in den Mund gelange, gibt man dem Heber die Form wie sie (Fig. 185) zeigt: a wird in die Flüssigkeit eingetaucht, bei der Öffnung c des Ansatzrohres dc wird gesaugt, bei b strömt die Flüssigkeit aus. Dieser Heber heisst Giftheber. Der Winkelheber kann auch benützt werden, um eine Flüssigkeit, die unter einer anderen minder dichten sich befindet, in ein anderes Gefäss überzufüllen.

Steht eine mit Wasser gefüllte Höhlung eines Berges mit einem durch Spalten gebildeten Heber adb (Fig. 186) in Verbindung, so fliesst bei b, c das Wasser so lange aus, bis es in der Höhlung unter a gesunken ist. Das Wasser beginnt erst wieder zu rinne, wenn es in der Höhlung bis über den höchsten Punkt d des Hebers gestiegen ist. Auf diese Art erklären sich die intermittierenden und periodischen Quellen, so wie auch die Hungerquellen.

Die Saugpumpe (Fig. 187) besteht aus dem höchstens 28' hohen Saugrohr bd ; welches mit dem siebförmig verschlossenen Ende d in das zu hebende Wasser eingetaucht und mit dem oberen Ende in ein zweites Rohr, den Pumpenstiefel ba eingelassen ist. Mittelt eines Hebels und der Stange e lässt sich der luftdicht anschliessende Kolben

Fig. 187.

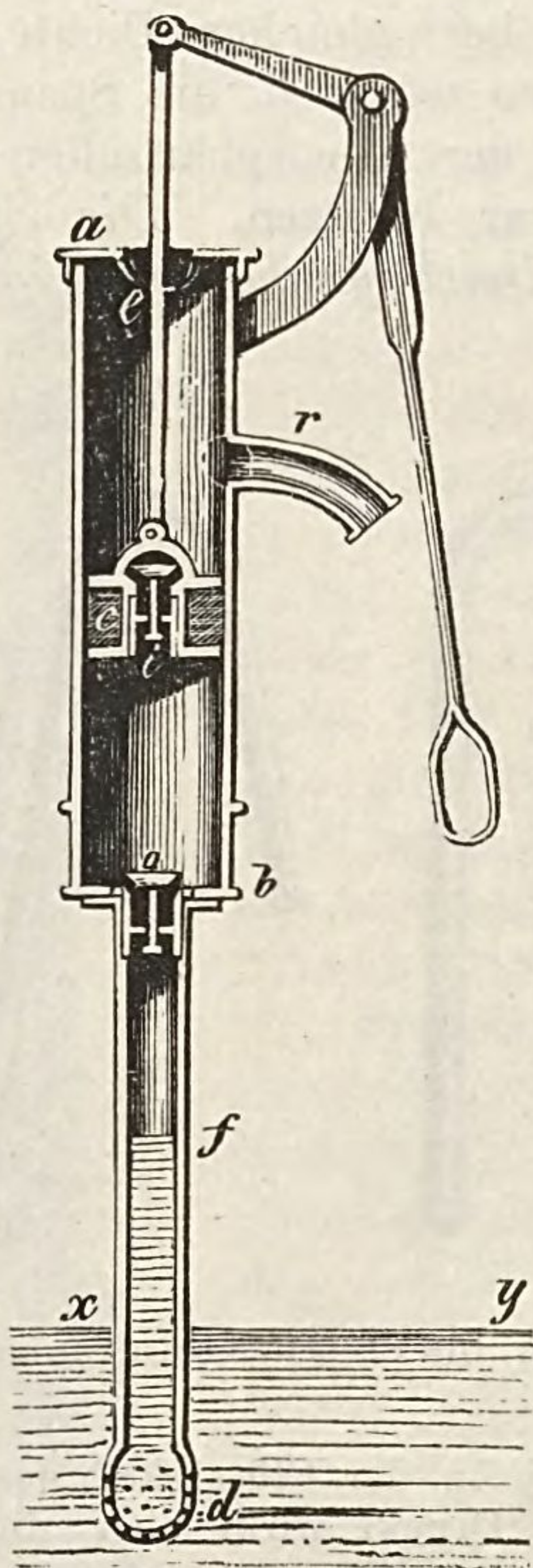


Fig. 186.

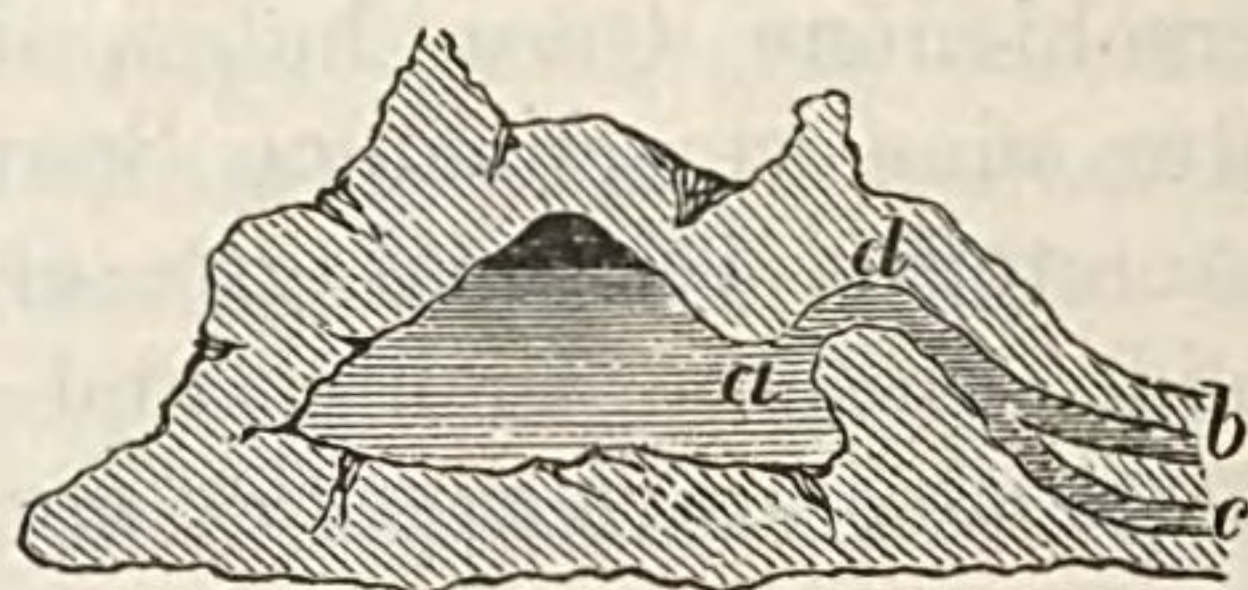
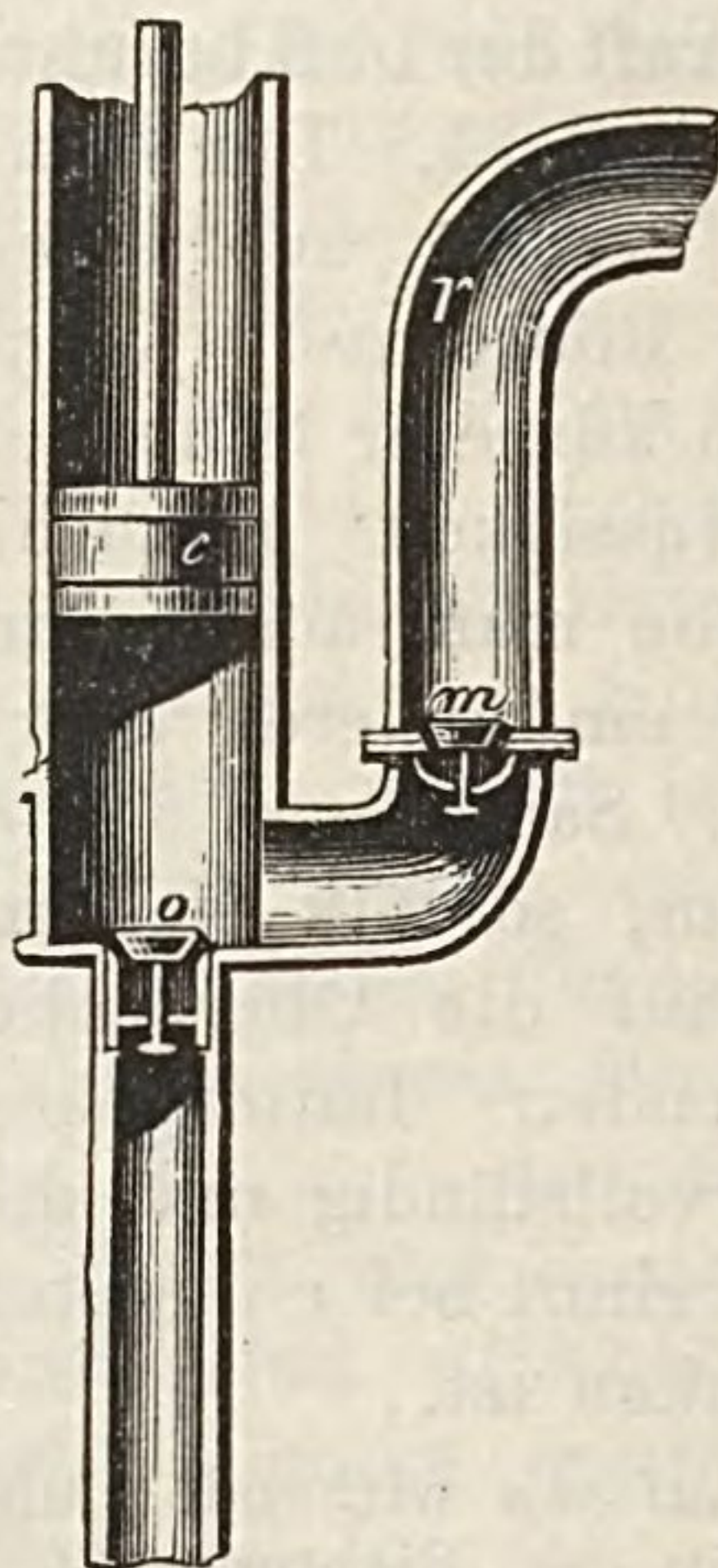


Fig. 188.

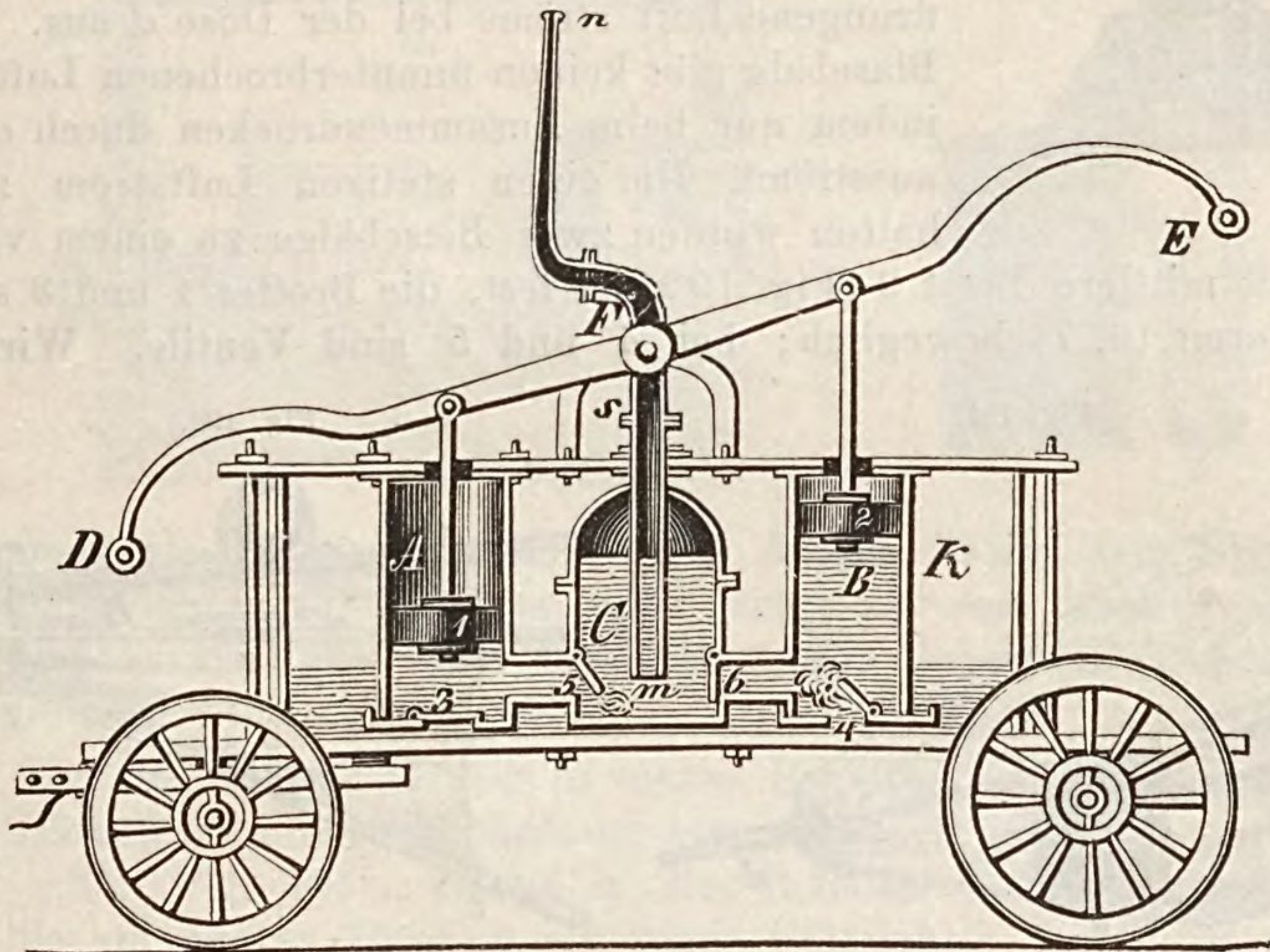


c im Stiefel auf- und abbewegen. Am Boden des Stiefels und im Kolben befindet sich je ein Ventil o, i . Angenommen die Pumpe wäre erst eingesetzt worden und der Kolben sässe auf dem Boden des Stiefels auf; das Wasser würde im Saugrohr und ausserhalb bis xy stehen. Indem man den Kolben emporzieht, entsteht zwischen ihm und dem Boden des Stiefels ein Raum, in welchen die über dem Wasser im Saugrohr befindliche Luft eindringt, nachdem sie das Ventil o geöffnet hat; die Spannkraft dieser Luft wird dadurch verringert und der auf xy wirkende Luftdruck hebt das Wasser z. B. bis f empor. Drückt man nun den Kolben wieder hinab, so schliesst sich o , die im Stiefel unterhalb c vorhandene Luft wird zusammengepresst bis ihre Spann-

kraft so gross geworden, dass sie den auf dem Ventile *i* lastenden Luftdruck zu überwinden und durch das geöffnete Ventil auszuströmen vermag. Beim zweiten Kolbenzuge wiederholt sich dasselbe; das Wasser steigt endlich bis *o* und dringt in den Stiefel, wo es beim Hinabdrücken des Kolbens *i* öffnet und über *c* emporsteigt, bis es das Ausflussrohr *r* erreicht. Ist die Pumpe gut eingerichtet und schon einmal mit Wasser voll gepumpt, so soll schon beim ersten Kolbenzuge Wasser aus *r* ausfliessen.

Bei der Druckpumpe (Fig. 188) ist der Kolben *c* nicht durchbrochen; am Stiefel ist nahe am Boden das Steigrohr *r* angesetzt, in welchem ein Ventil *m* sich befindet. Setze den Vorgang beim Pumpen auseinander.

Fig. 189.

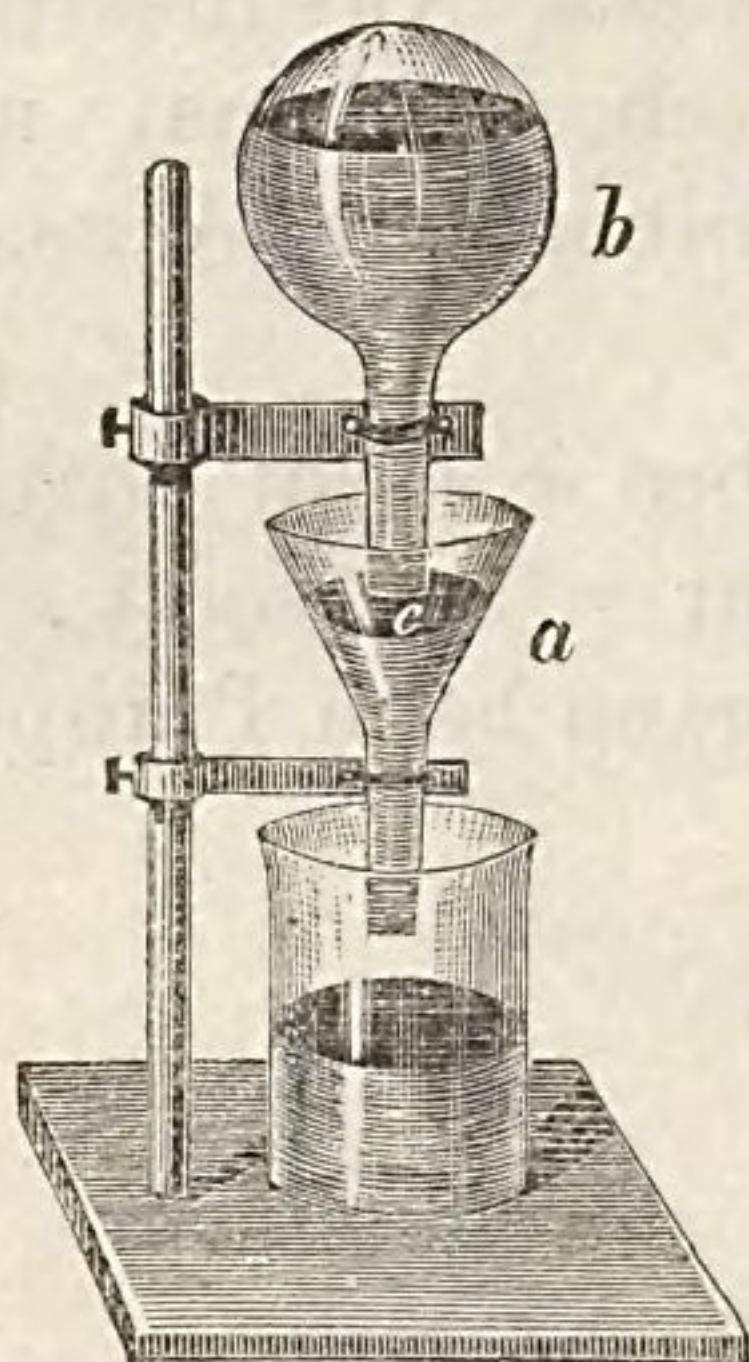


Die Feuerspritze (Fig. 189) besteht aus zwei Druckpumpen *A*, *B*, welche mit dem Windkessel *C* verbunden sind; letzterer ist ein Kessel, in welchen ein nahe bis zum Boden reichendes Rohr *m s* eingelassen ist. Werden die Kolben 1, 2 mit Hilfe des um *F* drehbaren Hebels *D E* auf- und abbewegt, so wird durch die Ventile 3, 4 abwechselnd Wasser aus dem Behälter *K* gesaugt und durch die Ventile 5, 6 in den Windkessel getrieben. Steht *m* einmal unter Wasser, so kann aus dem Windkessel keine Luft mehr entweichen; die in *C* befindliche Luft wird daher durch weiteres Hineinpumpen von Wasser stark verdichtet und treibt in Folge ihrer erhöhten Spannkraft das Wasser in *m s* und durch das Ansatzrohr *s n* in einem ununterbrochenen Strahle heraus.

Um z. B. in dem Gefässe *a* die Flüssigkeitsoberfläche immer in gleicher Höhe zu erhalten, taucht man das mit derselben Flüssigkeit gefüllte Gefäss *b* in *a* so ein, dass seine Öffnung *c* durch die Flüssigkeitsoberfläche in *a* eben verschlossen wird. Tritt nun aus *a* ein Theil der Flüssigkeit aus, so dass die Oberfläche nur etwas unter

c hinabsinkt, so dringt bei *c* augenblicklich etwas Luft ein und in Folge dessen fliesst etwas Flüssigkeit aus *b* nach *a*, wodurch die Oberfläche in *a* auf gleicher Höhe erhalten wird. Eine solche Einrichtung ist z. B. bei Lampen getroffen.

Fig. 190.



Der einfache Blasebalg besteht aus zwei Brettern *a*, *b* (Fig. 191), welche durch Leder *c* zu einem luftdichten Behältnis verbunden sind; am Brette *b* ist ein Ventil *e* angebracht, welches sich nach innen zu öffnet. Zieht man die Bretter auseinander, so wird *e* durch den äussern Luftdruck geöffnet; beim Zusammendrücken von *a* und *b* schliesst sich *e* wieder und die vorhin eingedrungene Luft strömt bei der Düse *d* aus. Dieser Blasebalg gibt keinen ununterbrochenen Luftstrom, indem nur beim Zusammendrücken durch *d* Luft ausströmt. Um einen stetigen Luftstrom zu erhalten werden zwei Blasebälge zu einem verbunden.

Das mittlere Brett 2 (Fig. 192) ist fest, die Bretter 1 und 3 sind in Scharnieren (6, 7) beweglich; bei 4 und 5 sind Ventile. Wird das

Fig. 191.

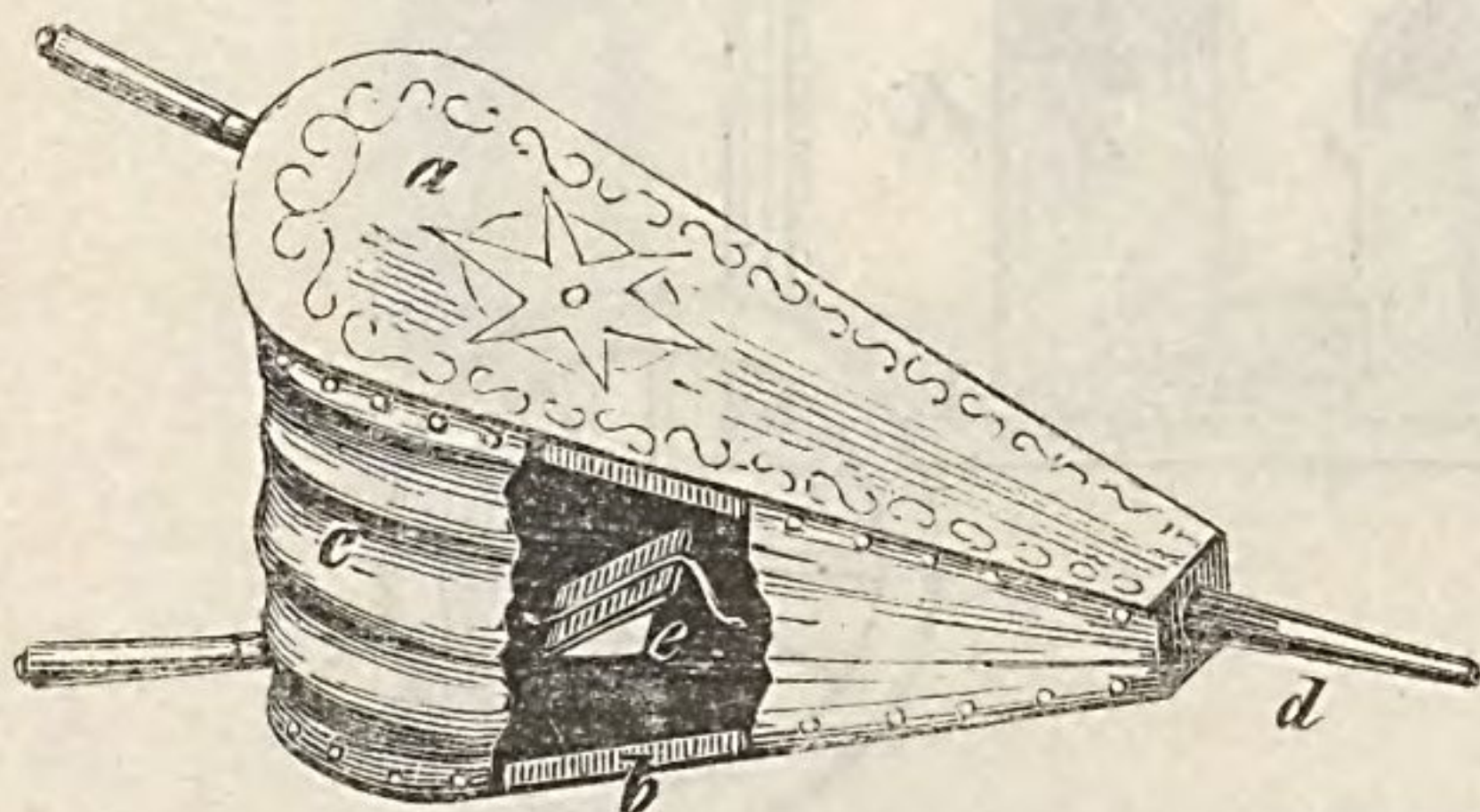
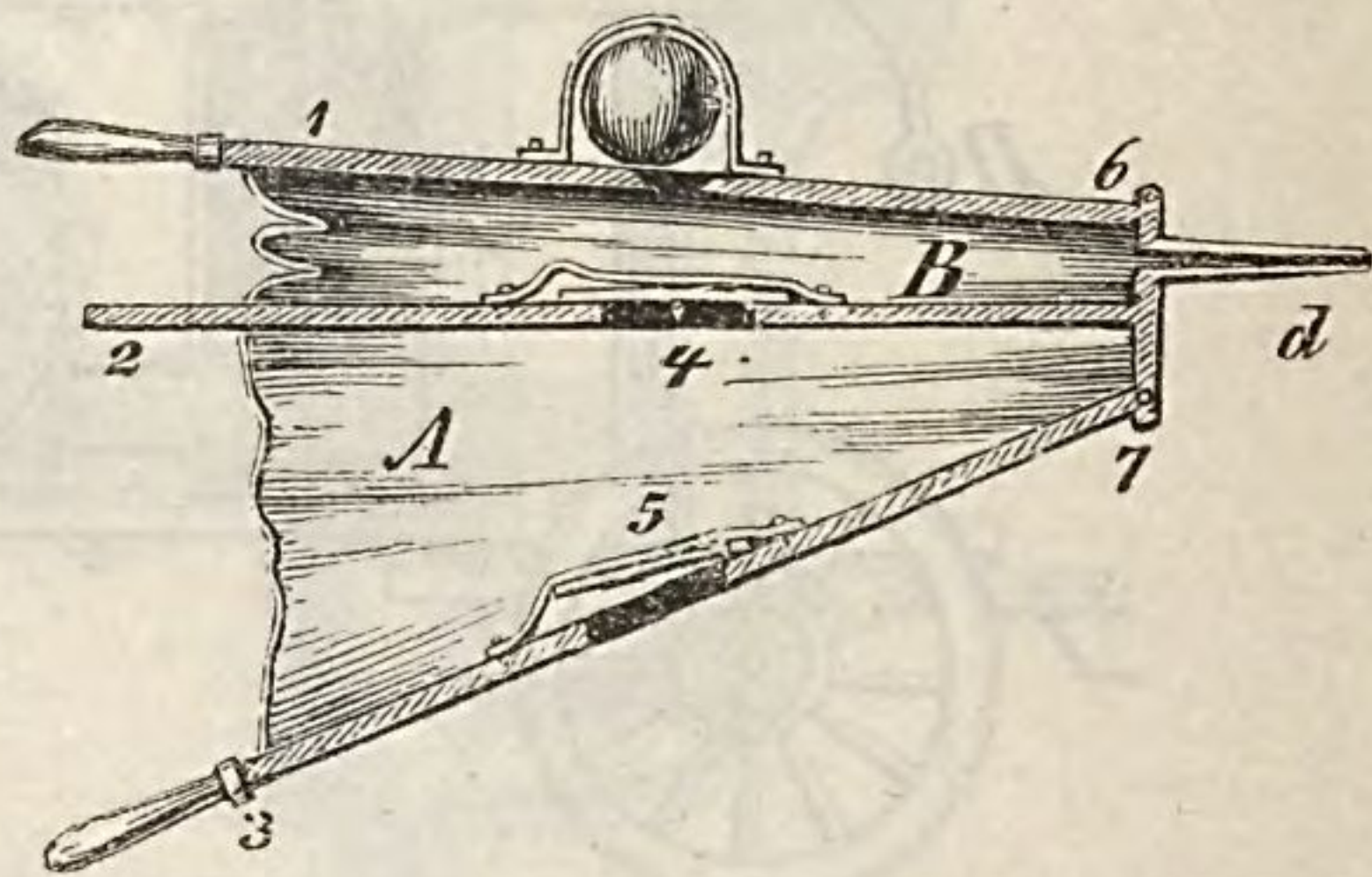
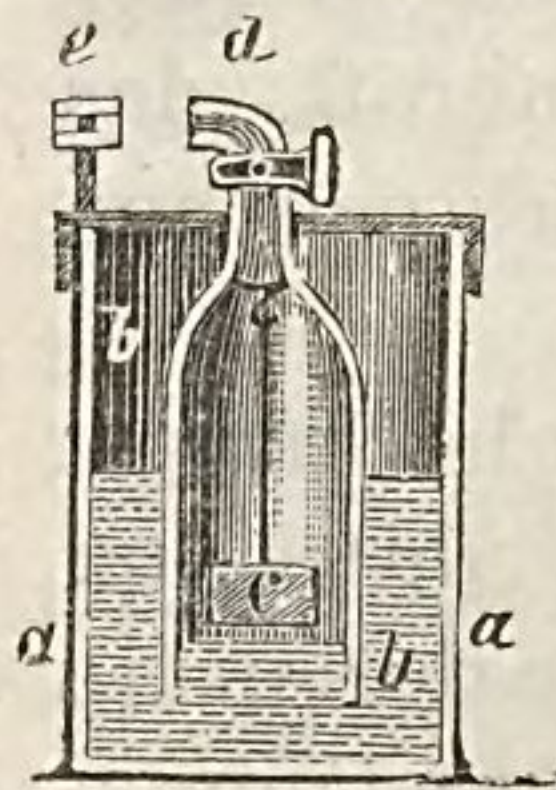


Fig. 192.



Brett 3 herabgezogen, so saugt *A* durch das Ventil 5 Luft, welche beim Aufwärtsziehen von 3 durch das Ventil 4 nach *B* dringt, um hier bei *d* auszuströmen. Die Ausströmung der Luft bei *d* erfolgt nur langsam; daher sammelt sich in *B* verdichtete Luft an, welche in Folge eines auf 1 ausgeübten Druckes bei *d* stetig ausfliesst. — Zur Unterhaltung grösserer Feuerungen hat man andere Gebläsvorrichtungen, wie z. B. das Cylindergebläse.

Fig. 193.



Das Wasserstoff-Feuerzeug (Fig. 193) besteht aus einem Gefässe *a*, welches verdünnte Schwefelsäure enthält, und in dessen Deckel eine Glasglocke *b* befestigt ist; in dieser hängt an einem Drahte ein Zinkstück *c* herab, so dass es in die Schwefelsäure eintaucht. Das entwickelte Wasserstoffgas sammelt sich in der Glocke an und drückt die Säure so weit nieder, bis das Zinkstück frei hängt. Durch das mit einem Hahne verschliessbare Röhrchen *d* strömt das Gas gegen den bei *e* angebrachten Platinschwamm und entzündet sich daselbst.

In Gasbereitungsanstalten wird das Leuchtgas mit Hilfe des in Fig. 194 abgebildeten Apparates, welcher Gasometer genannt wird, angesammelt. *A* ist ein aus starkem Eisenblech verfertigter hohler Cylinder, welcher oben geschlossen ist und durch ein Gegengewicht *B* äquilibrirt wird. Ist *A* ganz in den mit Wasser gefüllten Behälter eingetaucht, und man lässt durch das Zuleitungsrohr *gf* Gas einströmen, so wird diess in *A* sich ansammeln und vermöge seiner Spannkraft *A* emporheben. Versperrt man den Hahn *h* und öffnet den Hahn *d* des Ausflussrohres *abc*, so strömt das Gas bei *a* aus dem Cylinder ins Rohr *bcd*; das Gewicht *B* ist nämlich etwas kleiner

Fig. 194.

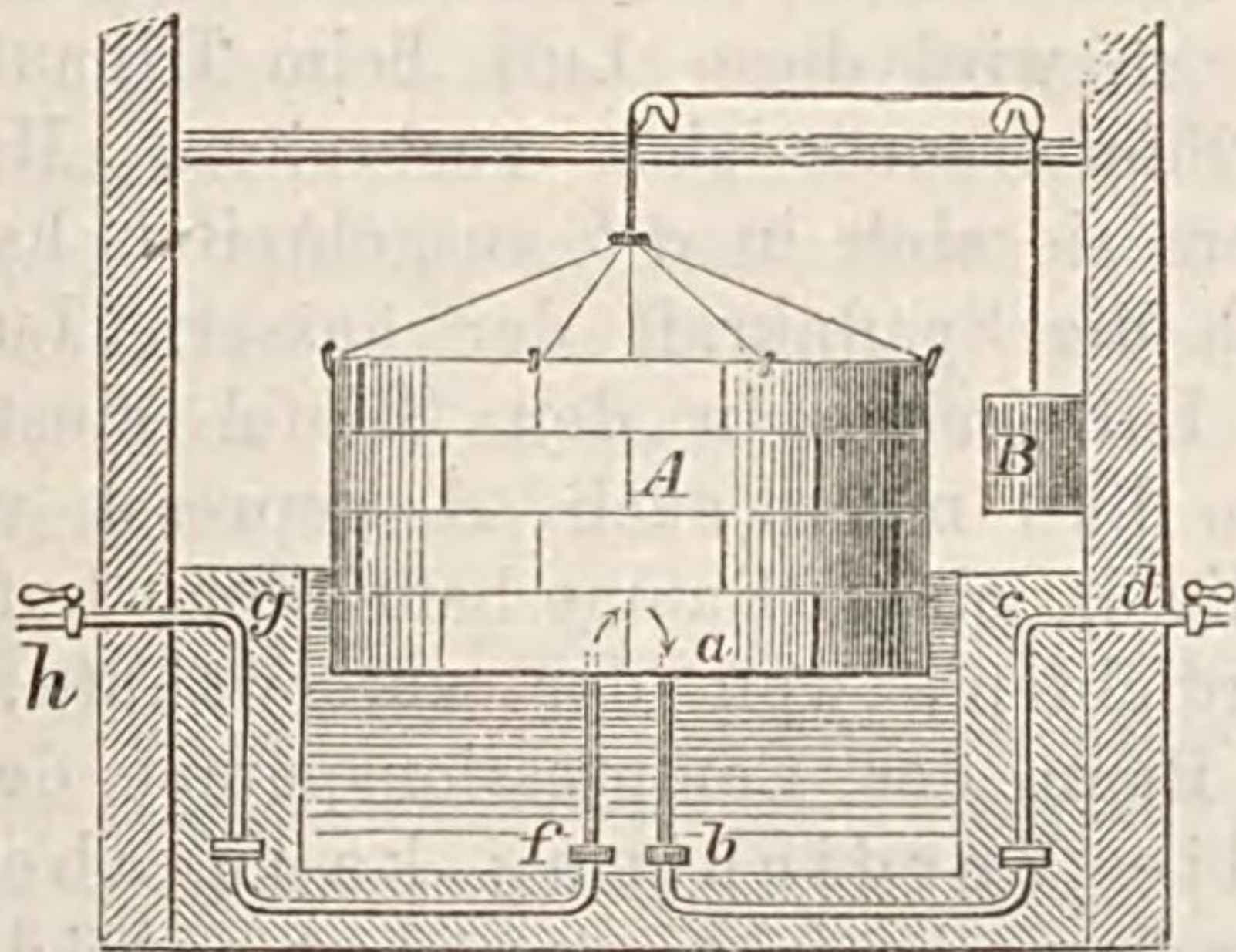
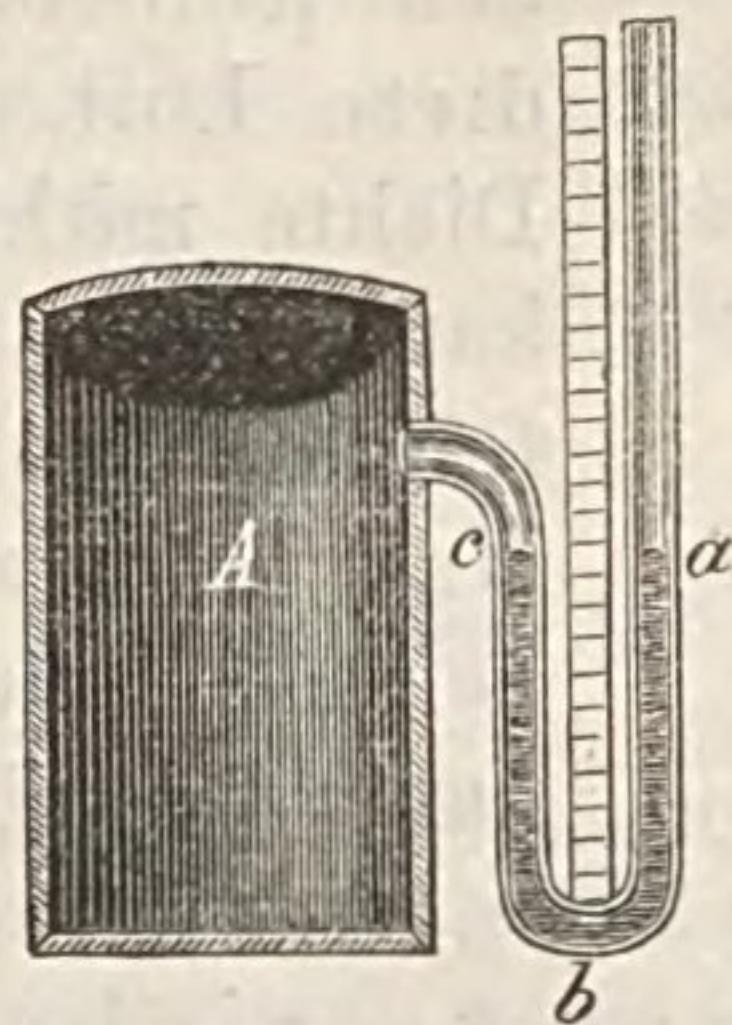


Fig. 195.



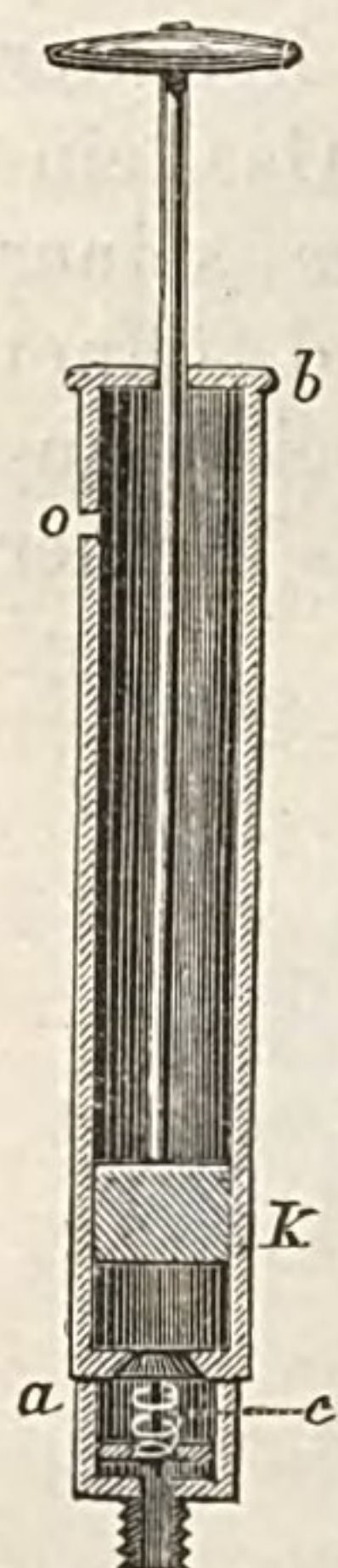
genommen als das von *A* ist, folglich drückt *A* mit dem Überschusse seines Gewichtes auf das Gas und bringt es zum Ausströmen. Die Ausflussgeschwindigkeit des Gases lässt sich durch das Gegengewicht *B* regulieren.

Um die Spannkraft der in einem Behälter eingeschlossenen Gase oder Dämpfe zu ermitteln, bedient man sich z. B. einer gebogenen Glasröhre *cba* (Fig. 195), welche in den Behälter luftdicht eingefügt ist und bis zur oberen Biegung mit einer Flüssigkeit, z. B. mit Quecksilber gefüllt ist. Hat das in *A* enthaltene Gas dieselbe Spannkraft wie die äussere Luft, so steht die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch. Ist aber die Spannkraft des eingeschlossenen Gases grösser als der äussere Luftdruck, so steigt die Flüssigkeit im längeren Schenkel über *a* empor; der Höhenunterschied der beiden Flüssigkeitssäulen multipliciert mit dem Gewichte einer Kubikeinheit der Flüssigkeit, gibt den Überschuss der Spannkraft des in *A* befindlichen Gases über den äusseren Luftdruck an. Derlei Apparate heissen Manometer.

128. Die Luftpumpe. Die Luftpumpe dient entweder zur Verdichtung oder zur Verdünnung der in einem bestimmten Raume eingeschlossenen Luft. Zu ersterem Zwecke wird die sogenannte Compressionspumpe (Fig. 196) verwendet. Dieselbe besteht aus einem hohlen Metallcylinder (Stiefel) *ab*, in welchem sich ein luftdicht anschliessender Kolben *k* auf- und abbewegen lässt; bei *o* ist eine kleine Öffnung, bei *c* ein Ventil angebracht, welches durch eine Metallfeder geschlossen wird, sich aber von oben nach unten öffnen lässt. Wird

diese Pumpe auf den Behälter *A*, in welchem die Luft verdichtet werden soll, aufgeschraubt, und *k* ganz in die Höhe gezogen, so wird

Fig. 196.

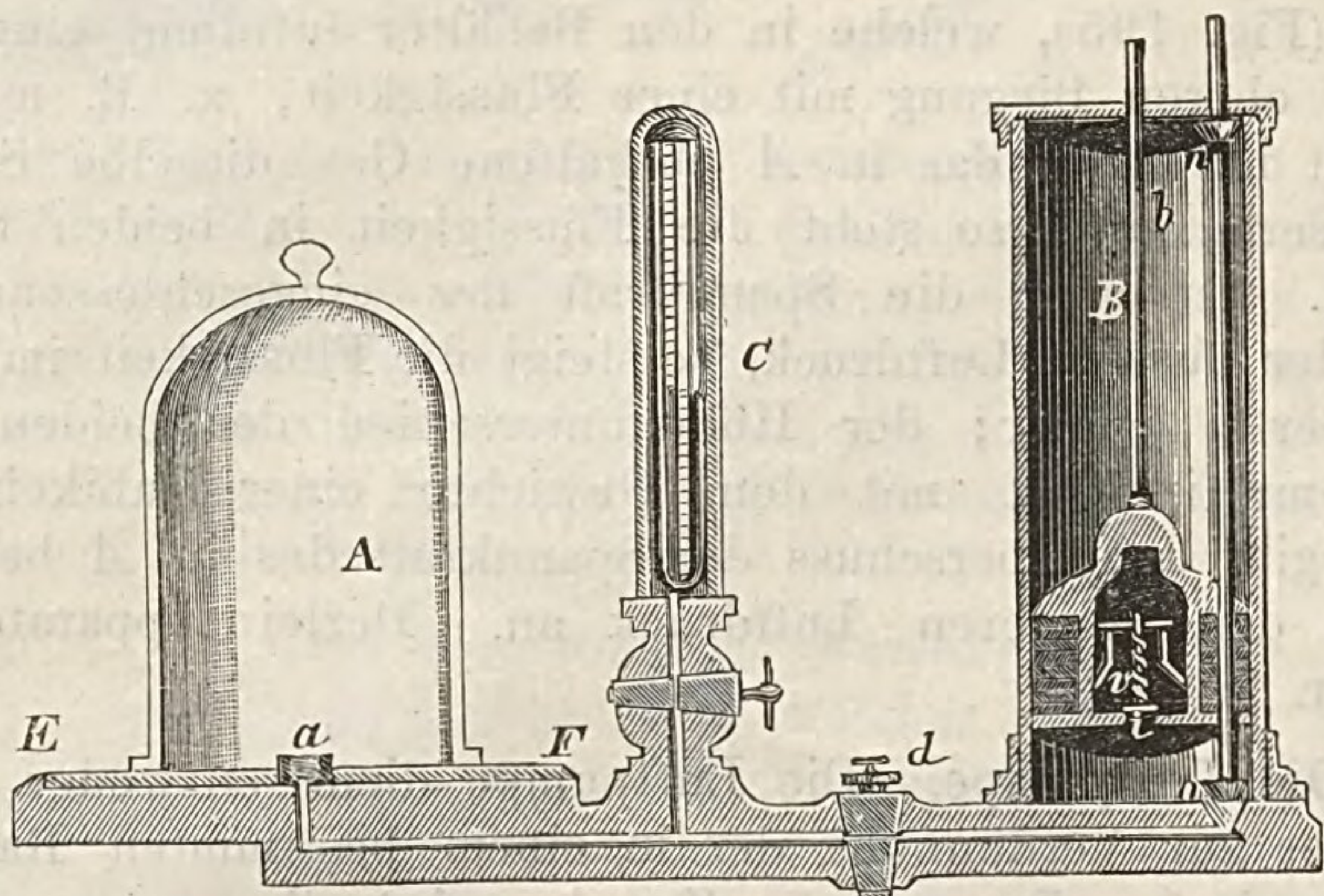


von aussen durch *o* Luft in den unter *k* befindlichen Raum des Stiefels eindringen; diese Luft wird beim Hinabdrücken des Kolbens zusammengepresst und kann vermöge ihrer gesteigerten Spannkraft das Ventil *c* öffnen und in den Behälter *A* strömen. Hierauf schliesst *c* sich wieder. Ganz dasselbe wird sich bei den folgenden Kolbenzügen wiederholen. Weil aber in dem kleinen Raume zwischen der unteren Kolbenfläche und dem Ventil, selbst wenn der Kolben so weit als möglich hinabgedrückt worden ist, immer etwas Luft zurückbleibt, welche dieselbe Dichte wie jene in *A* besitzt, so wird diese Luft beim Hinaufziehen des Kolbens im Stiefelraume sich ausbreiten. Hat nun diese Luft, nachdem sie sich in *a b* ausgebreitet hat, die Dichte mithin auch die Spannkraft der äussern Luft, so kann bei *o* keine Luft mehr in den Stiefel einströmen, folglich auch keine Luft mehr nach *A* gepresst werden. Man kann somit die in einem Raume befindliche Luft nicht beliebig stark verdichten, weil der vorerwähnte, sogenannte schädliche Raum der Compressionspumpe der Ver-

dichtung eine Grenze setzt; die Verdichtung kann aber um so weiter getrieben werden, je kleiner der schädliche Raum im Vergleiche zum Volumen des Stiefels ist.

Die Verdünnungsluftpumpe (Fig. 197) besteht aus dem Stiefel, welcher mit einem in der Mitte durchbohrten, luftdicht anschliessenden Kolben versehen ist und durch einen Kanal mit dem

Fig. 197.



Recipienten *A* in Verbindung steht. Der Recipient ist eine Glasglocke, welche mit ihrem gut abgeschliffenem Rande auf einer glatten Glasplatte, dem sogenannten Teller *MN* luftdicht aufruht, oder ein anderer Behälter, welcher bei *a* auf den Teller aufgeschraubt ist. *v* ist das Kolbenventil, *b* ein Stab, welcher durch den Kolben hindurchgeht,

so dass beim Aufziehen des Kolbens der Kegel o gerade aus der Mündung des Kanals d herausgehoben, und dass beim Hinabdrücken des Kolbens die Mündung von d wieder verschlossen wird; die Widerlage n hindert die allzu grosse Hebung des Ventils o . Sobald der Kolben gehoben wird, öffnet sich o , Luft strömt von A nach B über; beim Niederdrücken des Kolbens wird ihr durch o der Rückgang nach A versperrt; die Luft wird also zusammengepresst, sie öffnet in Folge ihrer gesteigerten Spannkraft das Ventil v und strömt daselbst aus. Auf diese Art wird die Luft in A mit jedem Kolbenzuge mehr und mehr verdünnt; jedoch ist auch hier der Verdünnung durch den schädlichen Raum i eine Grenze gesetzt. Denn wenn die Luft in A bereits so weit verdünnt ist, dass die nach B übergetretene Luft auf den schädlichen Raum i zusammengepresst, den auf das Kolbenventil von oben nach unten ausgeübten Luftdruck nicht mehr zu überwinden vermag, so kann keine Luft mehr durch den Kolben ausströmen, folglich die Luft in A nicht weiter verdünnt werden. Die Verdünnung erreicht einen um so höheren Grad, je kleiner der schädliche Raum im Verhältniss zum Stiefel ist.

Den Grad der Luftverdünnung bestimmt man mittelst der Barometerprobe C , welche aus einem kurzen Heberbarometer besteht, das unter einem mit A in Communication stehenden Recipienten sich befindet. Beim gewöhnlichen Luftdrucke ist der geschlossene Schenkel ganz mit Quecksilber gefüllt; wird die Luft verdünnt, so sinkt das Quecksilber im geschlossenen und steigt im offenen Schenkel; der Unterschied des Quecksilberstandes in beiden Schenkeln ist der Dichte der in A befindlichen Luft proportional. — Hat die Luftpumpe zwei Stiefel, so kann dieselbe Verdünnung natürlich in kürzerer Zeit erreicht werden als mit einer einstiefligen Luftpumpe. Ausser der beschriebenen Ventilluftpumpe gibt es auch Hahnluftpumpen.

Einige mit der Luftpumpe anzustellende Versuche. Ist die Luft aus A ausgepumpt, so haftet A fest an dem Teller. Hat der Recipient einen schalenartigen Holzdeckel und man schüttet in die Schale Quecksilber, so dringt dieses durch das Holz, wenn die Luft ausgepumpt wird. Magdeburger Halbkugeln. — Gibt man in ein mit Wasser gefülltes Gefäss Nüsse, Eier u. dgl. und stellt das Gefäss unter den Recipienten, so sieht man aus dem Wasser, den Nüssen u. s. w. Luftblasen emporsteigen, sobald Luft aus dem Recipienten ausgepumpt wird; lässt man nachher wieder Luft in A eintreten, so dringt Flüssigkeit in die Poren der Nüsse und Eier ein. — Das Bier schäumt, ein Heronsball springt, wenn sie unter den Recipienten gestellt und aus diesem die Luft ausgepumpt wird.

Die Luftpumpe kann benützt werden, um Flüssigkeiten leicht zum Verdunsten zu bringen, (z. B. beim Abdampfen von Lösungen), um Flüssigkeiten in die Poren der Körper zu treiben, d. h. um Körper zu imprägnieren, wie diess z. B. in der Gerberei beim Imprägnieren des Leders mit Lohflüssigkeit geschieht. — Die Compressionspumpe wird bei der Windbüchse verwendet, um die Kugel durch verdichtete Luft aus dem Rohre zu treiben.

Otto v. Guericke, Bürgermeister von Magdeburg, hat 1650 die Luftpumpe erfunden; er stellte 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg mit derselben vor Kaiser und Reichsfürsten Versuche an.

129. Gewichtsverlust der Körper in der Luft. Mengung verschiedener Gase. Da die luftförmigen Körper die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theilchen, und die Schwere mit den tropfbaren Flüssigkeiten gemeinsam haben, so ist klar, dass jeder Körper in der Luft

von seinem Gewichte scheinbar so viel verliert, als das Gewicht der von ihm verdrängten Luftmasse beträgt.

Der Körper, welcher das grössere Volumen besitzt, wird also auch in der Luft den grösseren scheinbaren Gewichtsverlust erleiden. Hieraus erklärt sich folgender Versuch. An einem kleinen sehr empfindlichen Wagebalken werde einer hohlen Glaskugel durch einen im Verhältniss zu ihr sehr kleinen Metallkörper das Gleichgewicht gehalten. Wird diese Wage unter den Recipienten der Luftpumpe gestellt, und in diesem die Luft verdünnt, so sinkt der Glasballon. Der scheinbare Gewichtsverlust ist offenbar um so geringer, je geringer die Dichte der den Körper umgebenden Luft ist; der Unterschied zwischen dem scheinbaren Gewichtsverlust, welchen Glasballon und Metallkörper ursprünglich, und jenem, welchen sie in der stark verdünnten Luft erleiden, wird bei dem Glasballon grösser als bei dem kleinen Metallkörper ausfallen. — Das Gewicht eines Körpers wird beim Abwägen nur dann richtig erhalten, wenn sein Gegengewicht ein eben so grosses Volumen wie der Körper hat.

Wie in den tropfbaren Flüssigkeiten, so wirkt auch in der Luft oder in einem anderen Gase der Auftrieb auf die Körper ein. Ein Körper sinkt also in der Luft, wenn er dichter, er schwebt in derselben, wenn er eben so dicht, und er steigt in der Luft empor, wenn er weniger dicht als diese ist.

Hieraus erklärt sich das Emporsteigen des Rauches, der warmen Luft, der Luftballone u. s. w. Die Luftballone (Aërostaten) bestehen aus einem leichten luftdicht gemachten Stoffe, z. B. Collodium, Papier, Taffet u. dgl., welche mit einem Firnis überzogen sind; der Ballon wird mit einem Gase, welches weniger dicht als die atmosphärische Luft, z. B. mit erwärmter Luft, Wasserstoff, Leuchtgas gefüllt. Der Ballon steigt natürlich nur so lange, bis er in eine Luftschicht kommt, deren Dichte gleich der Dichte des Ballons ist. Soll der Ballon noch höher steigen, so muss das Gewicht desselben verringert werden, was z. B. durch Auswerfen von Ballast geschehen kann. Will man den Ballon sinken machen, so lässt man Gas ausströmen; dadurch wird das Volumen des Ballons und hiemit seine Steigkraft kleiner. Den ersten Luftballon liessen die Gebrüder Montgolfier 1783 zu Anonay emporsteigen.

Strömt bei einer Öffnung eines Behälters ein gasförmiger Körper aus, so tritt gerade so wie bei tropfbaren Flüssigkeiten die Rückwirkung auf die der Öffnung gegenüberliegende Wand auf; darum weicht eine Kanone beim Abfeuern zurück, darum verspürt man mitunter einen Stoss, wenn ein Gewehr abgefeuert wird.

Versuch. Wenn man einen mit Kohlensäure gefüllten, aufrecht stehenden Cylinder oben öffnet, so breitet sich die Kohlensäure in der Luft aus, obgleich sie specifisch (1.5mal) schwerer als die atmosphärische Luft ist. Nach einiger Zeit ist in dem Cylinder ein Gas von derselben Beschaffenheit wie die äussere Luft enthalten. Verbindet man einen mit Wasserstoff und einen mit Kohlensäure gefüllten Cylinder durch ein mit einem Hahne versperbares Rohr so, dass der erstere über dem letzteren Cylinder liegt, so mengen sich die Gase nach erfolgter Öffnung des Hahnes ganz gleichmässig.

Während verschiedenartige tropfbare Flüssigkeiten, welche nicht mischbar sind, nach ihrem specifischen Gewichte sich über einander lagern, mengen sich alle Gase ganz gleichmässig, indem jedes Gas in dem Raume, wo bereits ein anderes sich befindet, sich so ausbreitet, als wäre das andere Gas gar nicht vorhanden. Das letztere Gas übt auf die Ausbreitung eines anderen Gases keinen anderen Einfluss aus, als dass es dieselbe in etwas verlangsamt.

Diesem Gesetze, welches nach seinem Entdecker das Dalton'sche Gesetz genannt wird, zufolge bildet die atmosphärische Luft stets und überall ein gleichförmiges Gemenge ihrer Hauptbestandtheile, ungeachtet durch das thierische Leben, durch den Verbrennungs- und anderer Prozesse stets Sauerstoff verzehrt, und Kohlensäure erzeugt wird. Nach diesem Gesetze können sich dort, wo der Abfluss der Gase nicht allzusehr gehemmt ist, keine schädlichen Gase anhäufen.

130. Spannkraft der Dünste. (Vgl. §§. 23, 27). Versuch a). Man lasse in die Torricelli'sche Leere des beim Torricelli'schen Versuche angewendeten Apparates eine entsprechende Wassermenge aufsteigen. Ein Theil des Wassers verdunstet, die Quecksilbersäule fällt und bleibt endlich bei einer gewissen Stelle stehen, obgleich noch Wasser in der Röhre vorhanden ist. Der Unterschied in dem Stande der Quecksilbersäule vor und nach dem Versuche, gibt offenbar die Spannkraft der in der Torricelli'schen Leere vorhandenen Wasserdünste an. Weil die Quecksilbersäule endlich bei einer bestimmten Stelle stehen bleibt, obgleich über ihr noch Wasser vorhanden ist, so muss man schliessen, dass sich unter den obwaltenden Umständen keine Dünste mehr bilden können. — Bringt man in die Nähe der Torricelli'schen Leere ein erhitztes Eisenblech, so sinkt das Quecksilber neuerdings und es verdunstet abermals ein Theil des noch vorräthigen Wassers. — Stellt man drei Röhren, wie sie beim Torricelli'schen Versuch benützt werden, neben einander, und lässt in die eine Wasser, in die zweite Alkohol, in die dritte Äther emporsteigen, so sinkt bei sonst ganz gleichen Umständen das Quecksilber in der zweiten Röhre tiefer als in der ersten, in der dritten tiefer als in der zweiten.

Hieraus folgt:

1. *In einem abgegrenzten Raume können sich bei einer gewissen Temperatur nur Dünste in beschränkter Menge und von einer bestimmten Spannkraft bilden.* Ist die grösstmögliche Dampfmenge in einem Raume vorhanden, so sagt man: der Raum sei mit Dampf gesättigt, oder die Dünste haben die grösste (das Maximum der) Spannkraft erreicht, welche sie bei der herrschenden Temperatur erreichen können.

2. *Das Maximum der Spannkraft der Dünste steigt, wenn die Temperatur erhöht wird, aber im allgemeinen viel stärker als die Temperatur zunimmt.* Im Übrigen verhalten sich die Dünste, so lange sie dem Tropfbarwerden nicht zu nahe sind, rücksichtlich ihrer Spannkraft und Dichte so wie die Gase, wenn die Temperatur oder der Druck, unter welchem sie stehen, geändert wird.

Die grösstmögliche Spannkraft der Wasserdünste ist bei 0° nur 2''' , bei 10° R. 5''' , bei 20° R. 10.5''' und bei 35° R. bereits 15''' .

3. *Dünste von verschiedenen Flüssigkeiten haben bei derselben Temperatur eine verschiedene Spannkraft, und zwar haben die Dünste jener Flüssigkeit die grössere Spannkraft, welche den niedrigeren Siedepunkt hat.*

Versuch b). Die Torricelli'sche Leere sei mit Wasserdunst gesättigt, und man drücke die Röhre etwas tiefer in's Quecksilber des

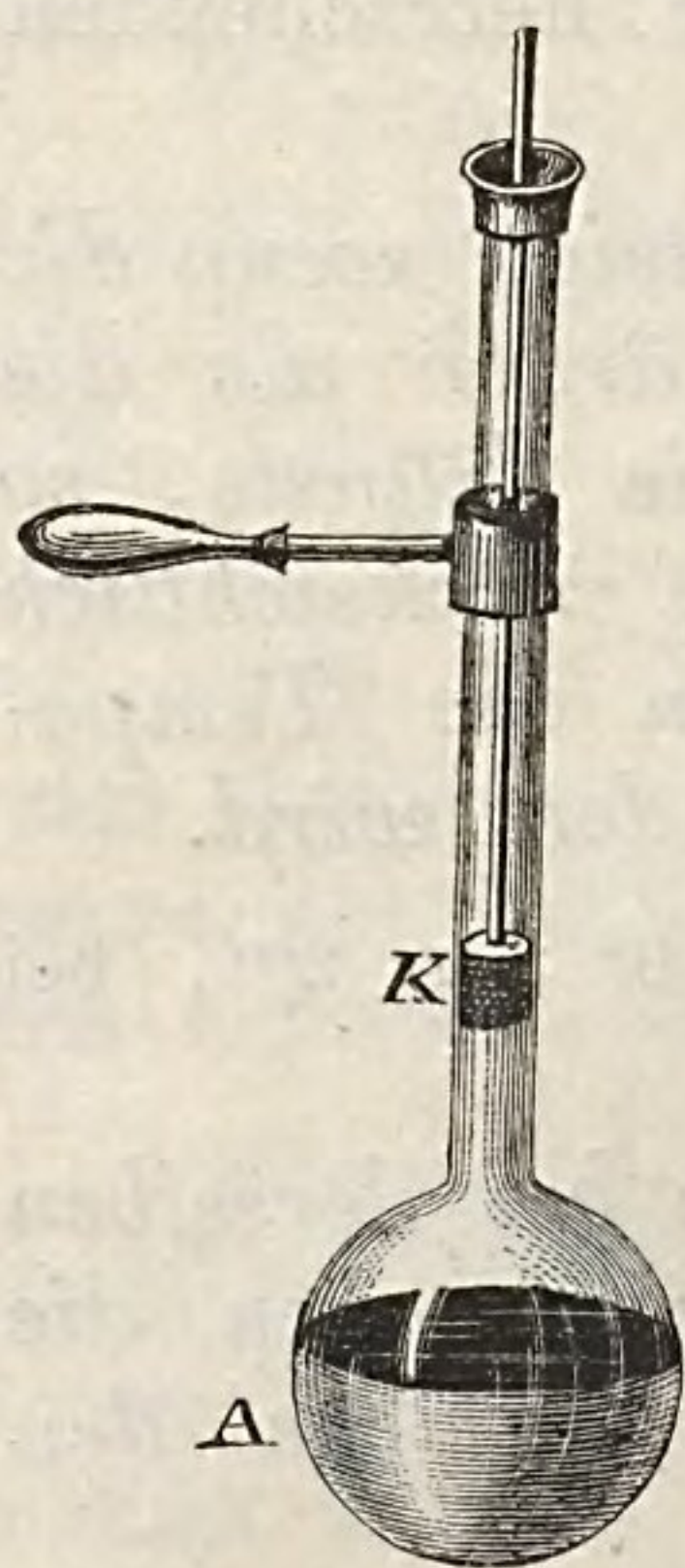
Gefäßes hinein; die Röhrenwand beschlägt sich mit Wassertröpfchen, aber der übrig gebliebene Wasserdampf zeigt wieder dieselbe Spannkraft wie vorhin. — Kühlt man den mit Dampf gesättigten Raum auch nur an einer Stelle ab, so wird ebenfalls ein Theil der Dünste tropfbar und der andere Theil behält eine Spannkraft, welche dem der neuen Temperatur entsprechenden Maximum gleich ist.

4. Ist ein Raum mit Dünsten gesättigt, so erzeugt der geringste Druck oder die geringste Abkühlung einen theilweisen Niederschlag. Ist aber ein Raum nicht mit Dünsten gesättigt, so entsteht in ihm durch Abkühlung erst dann ein Niederschlag, wenn die Temperatur bis unter jene sinkt, für welche die herrschende Spannkraft der Dünste den grössten Werth hat.

Hieraus erklärt sich die starke Wolkenbildung, welche eintritt, wenn der feuchte Süd- oder Südwestwind weht, oder wenn nach einem warmen Wind plötzlich ein kalter einbricht. — Haben die in der Luft enthaltenen Dünste die grösste Spannkraft, welche sie bei der herrschenden Temperatur erreichen können, so ist die weitere Verdunstung auch an unserem Körper gehemmt; wir verspüren dabei oft ein drückendes Gefühl und nennen dann die Luft schwül. Sinkt in einem solchen Falle die Temperatur, oder werden durch den Wind neue Dünste zugeführt, so entsteht sogleich ein Niederschlag; Gegenstände, deren Temperatur nur etwas niedriger als jene der Luft ist, werden mit Thau belegt. Aus letzterem Grunde heisst die Temperatur, für welche die herrschende Spannkraft der in der Luft enthaltenen Dünste ein Maximum ist, der Thaupunkt. Man hat eigene Instrumente zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgrades der Luft, welche man Feuchtigkeitsmesser oder Hygrometer nennt. — Die Spannkraft des Wasserdampfes beträgt 1 Atmosphäre bei 100° C., 2 Atmosphären bei 120.6° C., 3 Atmosphären bei 135° , 4 Atmosphären bei 145.4° , 5 Atmosphären bei 153° , 10 Atmosphären bei 181.6° C.

131. Dampfmaschine. Nebstdem dass der Wasserdampf zur Beheizung grosser Localitäten benutzt wird, findet der Dampf bei den Dampfmaschinen wohl die wichtigste Anwendung, indem man die Spannkraft desselben als bewegende Kraft verwerthet. Die Möglichkeit einer solchen Anwendung des Dampfes zeigt folgender

Fig. 198.



Versuch. Das Glasgefäß A (Fig. 198) sei theilweise mit Wasser gefüllt, der Kolben *k* schliesse luftdicht an die Wände des mit A verbundenen Cylinders an. Wird das Wasser bis zum Sieden erhitzt, so treibt die Spannkraft der entwickelten Dämpfe den Kolben in die Höhe; condensiert man die Dämpfe wieder, indem man A in kaltes Wasser eintaucht, so wird der Kolben durch den Luftdruck wieder nach abwärts gedrückt. Diesen Versuch hat Papin schon 1687 in Kassel angestellt.

Die wesentlichsten Theile der Dampfmaschine sind: *a*) ein Kessel aus starkem Eisenblech, in welchem der Dampf erzeugt wird; *b*) der Cylinder *B, K* (Fig. 199, 200), in welchem ein Kolben *k* sich auf- und nieder bewegt; *c*) das Schieberventil *ss* (Fig. 199, 200), welches in einem Kasten *CC* sich hin- und herbewegt. Bei der Stellung des Schiebers, wie sie Fig. 199 zeigt, kommt der Dampf bei dem an der Seite

von CC angebrachten Rohre r aus dem Kessel in den Kasten CC , tritt durch den Kanal xy unterhalb des Kolbens k in den Cylinder ein und hebt den Kolben in die Höhe, während der etwa über k be-

Fig. 199.

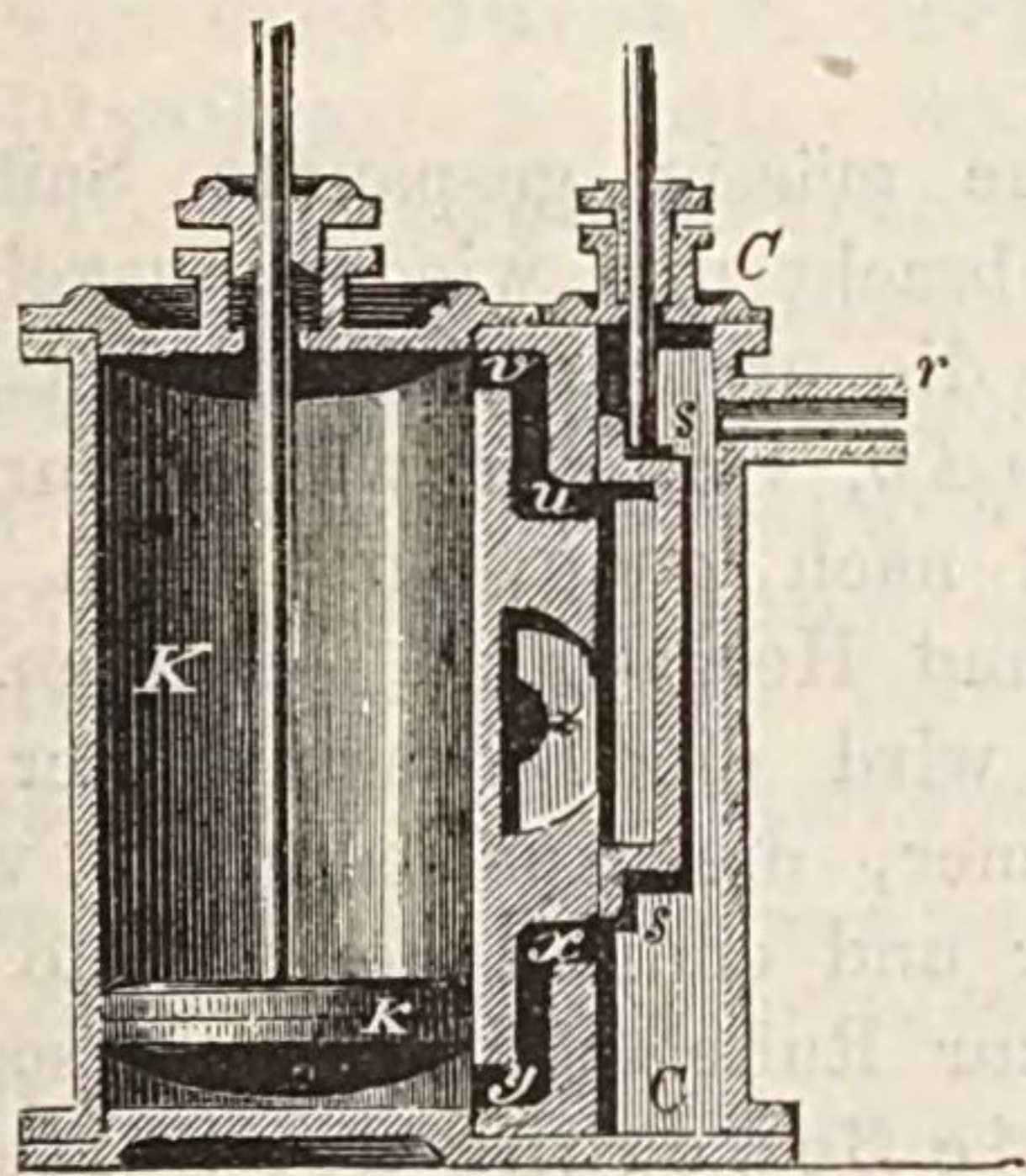
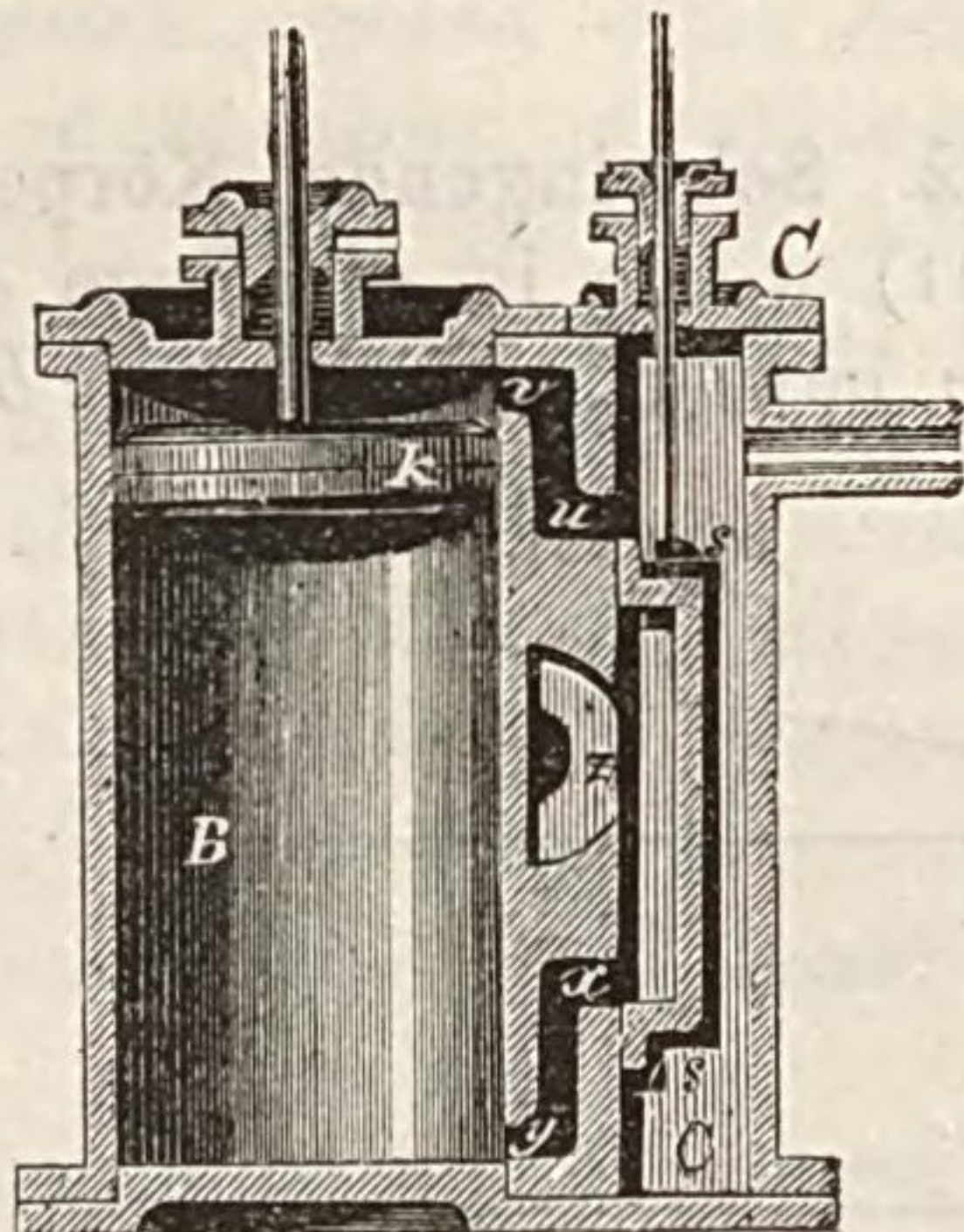


Fig. 200.



findliche Dampf durch den Kanal vu in den Raum z und von diesem in die Luft getrieben wird. Ist nun aber k in die höchste Stellung angelangt, so ist ss nach abwärts in die Lage, wie Fig. 200 sie zeigt, geschoben worden. Der Dampf geht nun vom Kessel durch das Rohr r und den Kanal vu oberhalb k in den Cylinder und drückt k hinab; zugleich tritt der unter k befindliche Dampf durch den Kanal xy in den Raum z und von hier in die Luft u. s. f. Die Kolbenstange steht durch einen starken Hebel aus Eisen, den sogenannten Balancier in Verbindung mit einem Schwungrade, so dass dieses gedreht wird, wenn der Kolben auf- und abgeht. Mit der Axe des Schwungrades sind jene Maschinen verbunden, welche mittelst der Dampfmaschine getrieben werden sollen.

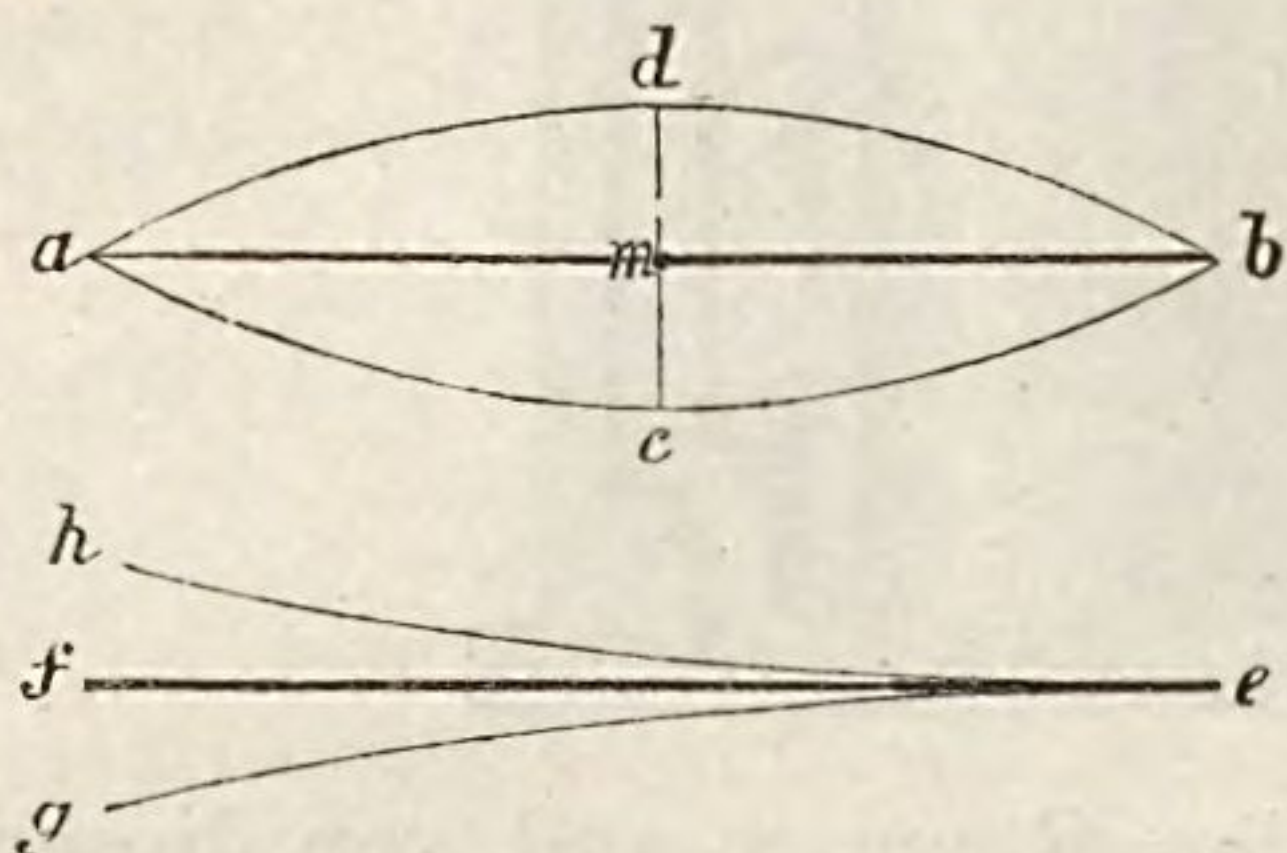
Man unterscheidet Dampfmaschinen mit niederem, mittlerem und hohem Drucke. Bei den ersten hat der Dampf eine Spannkraft, welche nicht viel grösser als eine Atmosphäre ist; bei den zweiten beträgt die Spannkraft des Dampfes $2\frac{1}{2}$ bis 4 Atmosphären, bei den Hochdruckmaschinen (wie z. B. bei der Locomotive) aber 4 bis 7 Atmosphären. Bei den Niederdruckmaschinen muss ein Condensator angebracht sein, denn wenn der Raum z mit der äusseren Luft in Verbindung steht, so wirkt diese der Bewegung des Kolbens mit einer Atmosphäre entgegen. Wenn nun die Spannkraft des Dampfes nur um wenig mehr als eine Atmosphäre z. B. $1\frac{1}{3}$ Atmosphäre beträgt, so wird der Kolben nur mit einer geringen Kraft, in dem angenommenen Falle mit nur $\frac{1}{3}$ Atmosphäre gehoben. Um diesen grossen Kraftverlust zu beseitigen, setzt man den Raum z mit einem Behälter in Verbindung, welcher mit kaltem Wasser gefüllt ist: dieser Behälter heisst Condensator, weil daselbst die eintretenden Dämpfe zu Wasser verdichtet (condensiert) werden. Weil das im Condensator enthaltene Wasser durch die bei der Verdichtung des Dampfes frei gewordene Wärme nach und nach warm wird, so wird durch eine Pumpe immer kaltes Wasser in den Condensator gepumpt, während das warme Wasser abgeleitet wird. Schieber und Pumpen werden durch die Maschine selbst bewegt.

Newkomen in England hat 1705 die erste Dampfmaschine angefertigt, bei welcher der Kolben durch Dampf empor-, durch die atmosphärische Luft aber nach abwärts getrieben wurde. Der Engländer Watt baute 1763 die erste Dampfmaschine mit Condensator, deren Einrichtung im Wesentlichen heute noch fortbesteht.

XI. VOM SCHALLE (AKUSTIK).

132. Schwingende Körper. Eine mässig gespannte Saite ab (Fig. 201) werde in die Lage acb gebracht und wieder ausgelassen; die Saite bewegt sich von acb durch die ursprüngliche Ruhelage ab noch adb , von hier wieder durch ab zurück nach acb , um einen neuen Hin- und Hergang zu beginnen. Allmählig wird die Bewegung der Saite langsamer, die Ausbiegungen werden kleiner und endlich kommt die Saite ganz zur Ruhe. Man erkennt sogleich, dass die Bewegung der Saite eine schwingende und jener eines Pendels ähnlich ist. — Dieselbe Beobachtung lässt sich auch an einem Stahlstäbchen ef (Fig. 201) machen welches an dem Ende e festgeklemmt ist, aus der Ruhelage ef in die Lage eg gebracht und dann ausgelassen wird.

Fig. 201.



Um die Bewegungsweise dieser elastischen Körper näher kennen zu lernen, fassen wir das Theilchen m der Saite ab ins Auge. Bei der Verschiebung der Saite nach acb kommt m nach c ; die dabei geweckte Elasticität der Saite sucht die Theilchen wieder in die alte Lage zurück zu führen; das Theilchen m muss sich also von c nach m zurück bewegen und zwar beschleunigt, weil die Elasticität fortwirkt, so lange m nicht in der Ruhelage angekommen ist. Da nun aber die Elasticität (vgl. §. 106) mit der Grösse der Verschiebung wächst und abnimmt, so wird der Zuwachs an Geschwindigkeit von c gegen m hin beständig kleiner; die Bewegung des Theilchens m ist daher von c bis nach m eine ungleichförmig beschleunigte. In der Ruhelage m angelangt, ist die Elasticität Null geworden, das Theilchen m bewegt sich aber in Folge der Trägheit mit seiner vollen Geschwindigkeit in der ursprünglichen Bewegungsrichtung cd über die Ruhelage hinaus. Sobald aber das Theilchen über die Ruhelage hinausgetreten ist, wird die Elasticität wieder rege; dieselbe wirkt diessmal der Bewegung gerade entgegen und zwar so lange, bis sie dem Theilchen die volle Geschwindigkeit, welche es in m besass, genommen hat. Von m bis d ist also die Bewegung eine ungleichförmig verzögerte, und in d ist die Geschwindigkeit Null. Weil das Theilchen die Geschwindigkeit, welche es in m besass, durch die Elasticität bei der Bewegung von c bis m erhalten hat, so wird eine gleich lange entgegengesetzte Einwirkung der Elasticität erforderlich sein, um jene Geschwindigkeit wieder zu vernichten; es muss daher $md = mc$ sein. In d angelangt kann das Theilchen der gegen m hinziehenden Elasticität wie früher in c folgen; es wird sich somit von d bis nach m ungleichförmig beschleunigt, von m aber bis nach c hin ungleich-

förmig verzögert bewegen. Auf diese Weise müsste das Theilchen m und überhaupt die ganze Saite beständig hin- und herschwingen, wenn nicht der Widerstand der Luft und andere Hindernisse entgegen wirkten. — Die Bewegung von c durch die Ruhelage m nach d und von hier durch m nach c zurück, wird eine *Schwingung* (Oscillation), die während derselben verfliessende Zeit die *Schwingungszeit* genannt. Der grösste Abstand des Theilchens m von seiner Ruhelage (wie cm , md) heisst die *Schwingungsweite* (Amplitude), die grösste Geschwindigkeit, welche das schwingende Theilchen in der Ruhelage hat, nennt man die *Schwingungsstärke* oder *Schwingungsintensität*; die Anzahl der in einer Secunde gemachten Schwingungen wird *Schwingungszahl* genannt.

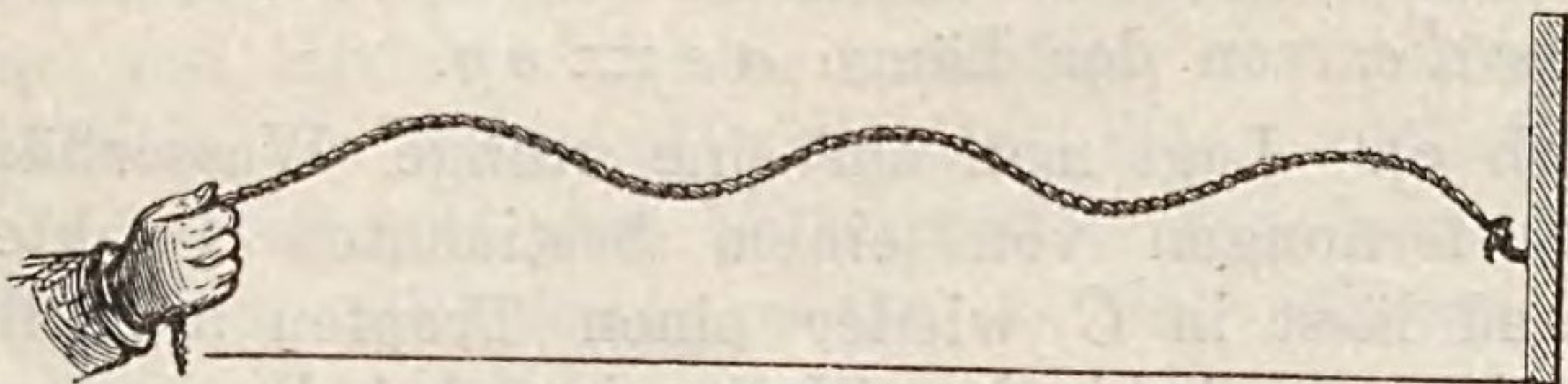
Man ersieht wohl, dass was beim Pendel eine Schwingung heisst in unserem Falle nur eine halbe Schwingung ist.

Wie das Theilchen m ebenso schwingen auch die anderen Theilchen der Saite oder des Stabes, und zwar in parallelen, auf die Längsaxe der Saite oder des Stabes senkrecht stehenden Richtungen; nur die Schwingungsweiten und die Schwingungsintensitäten sind bei den einzelnen Theilchen verschieden. Solche Schwingungen eines Körpers, bei welchen die Theilchen senkrecht auf die Längsaxe des elastischen Körpers schwingen, heissen *Quer-* (oder *Transversal-*) *Schwingungen*. Ferner ist zu ersehen, dass alle Theilchen der Saite die Schwingung gleichzeitig beginnen und vollenden, die Ruhelage gleichzeitig passieren, die Schwingungsweite gleichzeitig erreichen; eine derartige schwingende Bewegung eines Körpers heisst eine *stehende Schwingung*. Die Schwingungsdauer der Saite ist offenbar jener der einzelnen Theilchen gleich.

Wenn man einen Stab der Länge nach reibt, so gerathen seine Theilchen in Schwingungen, welche parallel zur Längsaxe des Stabes erfolgen; derlei Schwingungen heissen *Längen-* oder *longitudinale Schwingungen*.

133. Wellenbewegung. Versuch *a*). Eine 8 bis 12 Fuss lange Schnur (Fig. 202) werde mit dem einen Ende an einem Haken befe-

Fig. 202.



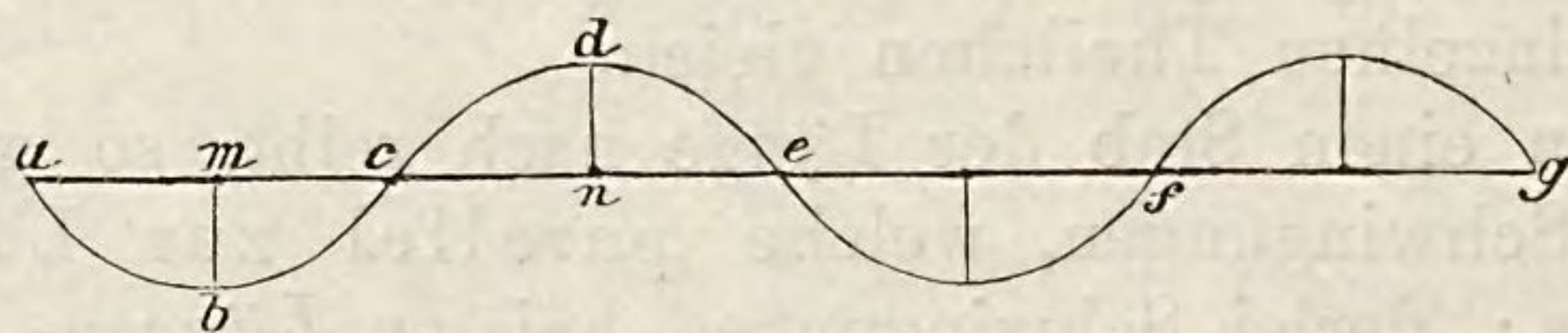
stigt, das andere Ende werde mit der Hand gehalten und die Schnur schwach in wagrechter Richtung gespannt. Bewegt man nun die Hand in regelmässiger Aufeinanderfolge rasch aber nur um wenig auf- und abwärts, so sieht man an der Schnur eine Reihe von Ein- und Ausbiegungen (wie Fig. 202 sie darstellt), welche unter einander stetig wechseln und von dem mit der Hand gehaltenen Ende gegen das andere hin fortschreiten. — Halte eine Schnur vertical und bewege

die Hand seitlich rasch hin und her. — Es ist offenbar, dass hiebei kein Theil der Schnur längs dieser hin- und herläuft; nur die Bewegung jenes Schnurtheiles, welcher von der Hand aus seiner Ruhelage verschoben ward, schreitet von Theil zu Theil fort, so dass jener Schnurtheil, welcher vom unmittelbar bewegten Ende weiter absteht, auch später in Bewegung geräth.

Eine solche Bewegung, bei welcher die Theilchen eines Körpers nicht gleichzeitig, sondern nach einander in schwingende Bewegung gerathen, heisst im Gegensatze zu der stehenden Schwingung eine *fortschreitende Schwingung* oder auch *Wellenbewegung*.

Versuch b). Man lasse auf eine ruhige Wasserfläche einen Wassertropfen oder ein Steinchen fallen; an der getroffenen Stelle der Wasserfläche entsteht eine kleine Vertiefung, um diese herum eine kreisförmige Erhöhung, an welche sich nach einander immer weiter werdende Vertiefungen und Erhöhungen anschliessen, welche aber in grösseren Entfernungen vom Erregungsorte sich mehr und mehr verflachen und endlich ganz verschwinden. Diese mit einander abwechselnden Erhöhungen und Vertiefungen nennt man gewöhnlich Wellen, und diese eigenthümliche Bewegung des Wassers heisst daher auch Wellenbewegung. — Denkt man sich durch die Erregungsstelle, wo der Tropfen niederfiel, eine verticale Ebene gelegt, so wird die in Wellenbewegung befindliche Wasserfläche in einer Linie $a b c d \dots$ (Fig. 203) geschnitten, während die Gerade $a g$ der Durchschnitt der ruhigen Wasserfläche ist. Die Theilchen zwischen a

Fig. 203.



und c , zwischen e und f liegen unter dem Wasserspiegel $a g$ und bilden ein sogenanntes Wellenthal von der Tiefe $m b$; die Theilchen zwischen c und e , zwischen f und g sind über $a g$ erhoben und bilden einen Wellenberg von der Höhe $d n$. Wellenberg und Wellenthal, welche unmittelbar auf einander folgen, bilden eine Welle, wie z. B. $a b c d e$, von der Länge $a e = e g$.

Versuch c). Legt man auf eine ruhige Wasserfläche in verschiedenen Entfernungen von einem bestimmten Punkte C kleine Holzsplitter und lässt in C wieder einen Tropfen auffallen, so gerathen die Splitter, sobald der Wellenring bei ihnen angelangt ist, in eine auf- und abschwankende Bewegung, und zwar nimmt ein Hölzchen um so später an der Bewegung Theil, je weiter es vom gemeinschaftlichen Mittelpunkt C der Wellen absteht. Dabei aber bleiben die Holzsplitter an ihrem alten Platze und kommen bald zur Ruhe, indem nur die Welle unter ihnen fortschreitet.

Bei der Wellenbewegung des Wassers befinden sich die einzelnen Wassertheilchen keineswegs in einer fortschreitenden, sondern

in einer eigenthümlichen schwingenden Bewegung, bei welcher sie sich regelmässig bald über die horizontale Oberfläche erheben, bald wieder unter dieselbe hinabsinken. Diese oscillierende Bewegung der einzelnen Wassertheilchen und die durch sie erzeugte Veränderung der Wasseroberfläche sind es, was vom Erregungsorte aus von Stelle zu Stelle weiter schreitet.

Lässt man bei Versuch c) regelmässig nach einander Tropfen niederfallen, so schliesst sich an den einen vom ersten Tropfen erzeugten Wellenzug wieder ein zweiter, an diesen ein dritter u. s. w. an, bis der letzte Tropfen die Wellenbewegung abschliesst. Würden z. B. in einer Secunde 16 Tropfen niederfallen, so werden in einer Secunde 16 Wellen erregt, und unter den Hölzchen hinwegziehen, so dass von jedem Hölzchen die auf- und abgehende Bewegung d. i. eine Schwingung 16mal wiederholt wird.

134. Kugelwellen. Man denke sich in der Luft eine elastische Kugel C , welche sich regelmässig aber rasch nach einander ausdehnt und wieder auf ihr altes Volumen zusammenzieht. Dehnt sich die Kugel C nach allen Richtungen hin gleich stark aus, so behält sie ihre Kugelform bei und übt auf die ihr anliegende Luftschichte einen Stoss aus, in Folge dessen die Lufttheilchen sich in der Richtung der Kugelhalbmesser fortzubewegen trachten. Weil aber die anderen Theilchen der nächstfolgenden Luftschichte nicht sogleich ausweichen, so wird die an C unmittelbar anliegende kugelförmige Luftschichte etwas verdichtet werden; wegen der dabei eintretenden Erhöhung der Spannkraft wird die verdichtete Luftschichte einen Druck nach aussen ausüben, welcher stärker ist als jener, den sie selbst von der benachbarten Luft nach innen zu erleiden hat. Die Theilchen der an C angrenzenden kugelförmigen Luftschichte werden sich daher etwas fortbewegen und dabei einen Stoss auf die Theilchen der zweiten Schichte ausüben, wodurch auch diese verdichtet und zur Bewegung angeregt werden; die zweite Schichte wird wieder auf eine dritte Schichte bewegend und verdichtend einwirken u. s. f. Man ersieht hieraus, dass die Verdichtung und Bewegung, welche durch die Ausdehnung der Kugel C in der ihr benachbarten Luftschichte erzeugt worden ist, sich in der Richtung der Radien nach allen Seiten fortpflanzen und zwar ringsum mit derselben Geschwindigkeit, weil die Dichte und Spannkraft der Luft nach allen Seiten hin gleich gross sind.

Zieht sich C wieder auf ihr altes Volumen zusammen, so wird um sie herum ein luftleerer Raum entstehen, in welchen die benachbarte Luft eindringt. Während sich also die Lufttheilchen bei der Ausdehnung der Kugel C vom Mittelpunkte derselben entfernen, bewegen sie sich jetzt rückgängig gegen C hin. Wegen dieser rückgängigen Bewegung entsteht rings um die Kugel eine Verdünnung, welche sich an die frühere Verdichtung unmittelbar anschliesst; wegen der Verdünnung und der damit zusammenhängenden Verringerung der Spannkraft tritt auch die nächstfolgende Schichte die rückgängige Bewegung an, und wird desshalb gleichfalls verdünnt. Die Verdünnung und die rückgängige Bewegung pflanzen sich also wie vorhin die Verdichtung von Schichte zu Schichte nach allen Seiten gleichmässig fort. In derselben Zeit, in welcher die Kugel C sich

einmal ausdehnt und zusammenzieht, wird also jedes Theilchen einer Luftschichte einen Hin- und Hergang, d. i. eine Schwingung vollenden, und zwar in der Richtung, in welcher Verdichtung und Verdünnung weiter schreiten. Ein Theilchen wird jedoch um so später zur Schwingung angeregt, je weiter es von der Kugel C entfernt ist; jene Theilchen, welche von C gleich weit abstehen, werden die Schwingung gleichzeitig beginnen und vollenden, daher auch gleichzeitig und in gleichem Grade verdichtet und verdünnt. Jene Theilchen, welche sich gleichzeitig in demselben Zustande der Schwingung befinden, liegen offenbar in der Oberfläche einer Kugel. Weil der Stoss, welcher von der Kugel C auf die ihr zunächst liegende Luftschichte ausgeübt wird, auf immer grösser werdende Kugelschichten übertragen wird, so werden in grösseren Entfernungen von C die Anregung zur Bewegung, die Verdichtung und Verdünnung immer schwächer, so dass in einem gewissen Abstände weder Bewegung noch eine Dichtigkeitsänderung eintritt. Es ist wohl für sich klar, dass die Bewegung und damit im Zusammenhange auch die Verdichtung und Verdünnung in den einzelnen Luftschichten um so stärker sein werden, je kräftiger der von C ausgehende Anstoss ist, also je stärker und je schneller sich die Kugel C ausdehnt und zusammenzieht. Wie die Kugel C wirkt auch eine schwingende Saite auf die sie umgebende Luft ein.

Wenn also ein in schwingender Bewegung befindlicher Körper von einem elastischen Mittel, z. B. von Luft rings umgeben ist, so wird die schwingende Bewegung auf das Mittel übertragen und es entstehen in diesem Verdichtungen und Verdünnungen, welche sich unmittelbar aneinander anschliessen und so wie die schwingende Bewegung nach allen Seiten hin gleichmässig fortpflanzen. Die bei dieser Wellenbewegung in dem elastischen Mittel entstehenden Wellen sind kugelförmig begrenzt und bestehen aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile. Die Theilchen des elastischen Mittels schwingen dabei parallel zur Fortpflanzungsrichtung der Wellenbewegung d. i. longitudinal und haben dieselbe Schwingungsdauer wie der schwingende Körper, welcher die Wellenbewegung erzeugt; ihre Schwingungsweite und Schwingungsstärke wird aber um so kleiner, je weiter sie von dem Erreger abstehen. Macht der schwingende Körper in einer Secunde z. B. 16 Schwingungen, so werden von demselben in einer Secunde 16 Wellen ausgehen und die Theilchen einer Kugelschichte des Mittels werden in einer Secunde gleichfalls 16 Schwingungen vollenden.

Die Kugelwellen unterscheiden sich von den früheren Wasserwellen dadurch, dass bei jenen die Theilchen parallel zur Fortpflanzungsrichtung der Wellenbewegung (longitudinal), bei den letzteren aber senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung (transversal) schwingen. Aus dieser Verschiedenheit der Schwingungsrichtung erklärt es sich, warum bei den Kugelwellen Dichtigkeitsänderungen, bei den Wasserwellen aber Veränderungen in der Form der Oberfläche eintreten. — Wird ein der schwingenden Bewegung fähiger Körper von einer Kugelwelle getroffen, so wird auch dieser zur Bewegung angeregt und zum Mitschwingen gebracht, wie wir das z. B. an den Hölzchen bei dem Versuche c) §. 133 gesehen haben.

135. Der Schall. Wird eine ziemlich lange, sehr schwach gespannte Saite in Schwingungen versetzt, so kann man letztere mit den Augen wahrnehmen und die Saite in ihren verschiedenen Lagen nach einander sehen. Wird die Spannung vergrößert, so schwingt die Saite bald so rasch, dass man die Lagen, welche sie dabei nach einander einnimmt, mit dem Auge nicht mehr zu unterscheiden vermag; die Saite erscheint dem Auge verdickt. Bei noch stärkerer Spannung erfolgen die Schwingungen noch schneller, das Auge nimmt sie nicht mehr wahr; dafür aber hören wir dieselben, indem wir einen Eindruck auf das Ohr empfinden. Jede mit dem Ohr gemachte Wahrnehmung nennt man *Schall*.

Versuch *a*). Schlägt man eine Glocke an, neben welcher ein Korkkügelchen so aufgehängt ist, dass es die Glocke berührt, so hört man einen Schall und sieht an den Bewegungen des Pendelchens, dass die Glocke schwingt. — Ein Schall wird auch erzeugt, wenn man einen elastischen Stab, eine elastische Platte durch Schlagen, Streichen oder Reiben in schnelle Schwingungen versetzt, wenn man an den Rändern einer entsprechenden Röhre einen Luftstrom rasch vorbeileitet, eine Pfeife anbläst u. s. w.

Versuch *b*). Ein im Gange befindliches Schlagwerk, dessen Füßchen mit Tuch, Wolle o. dgl. umhüllt sind, werde unter den Recipienten der Luftpumpe gestellt, so dass es in dem rings abgeschlossenen Raum ganz frei steht. Wird die Luft aus dem Recipienten ausgepumpt, so wird der Schall immer schwächer und endlich gar nicht vernehmbar; der Schall wird aber vernommen, wenn das Schlagwerk an einem Metalledrahte aufgehängt ist oder wenn es, ohne dass seine Füßchen mit Tuch o. dgl. umwickelt sind, auf dem Teller der Luftpumpe steht.

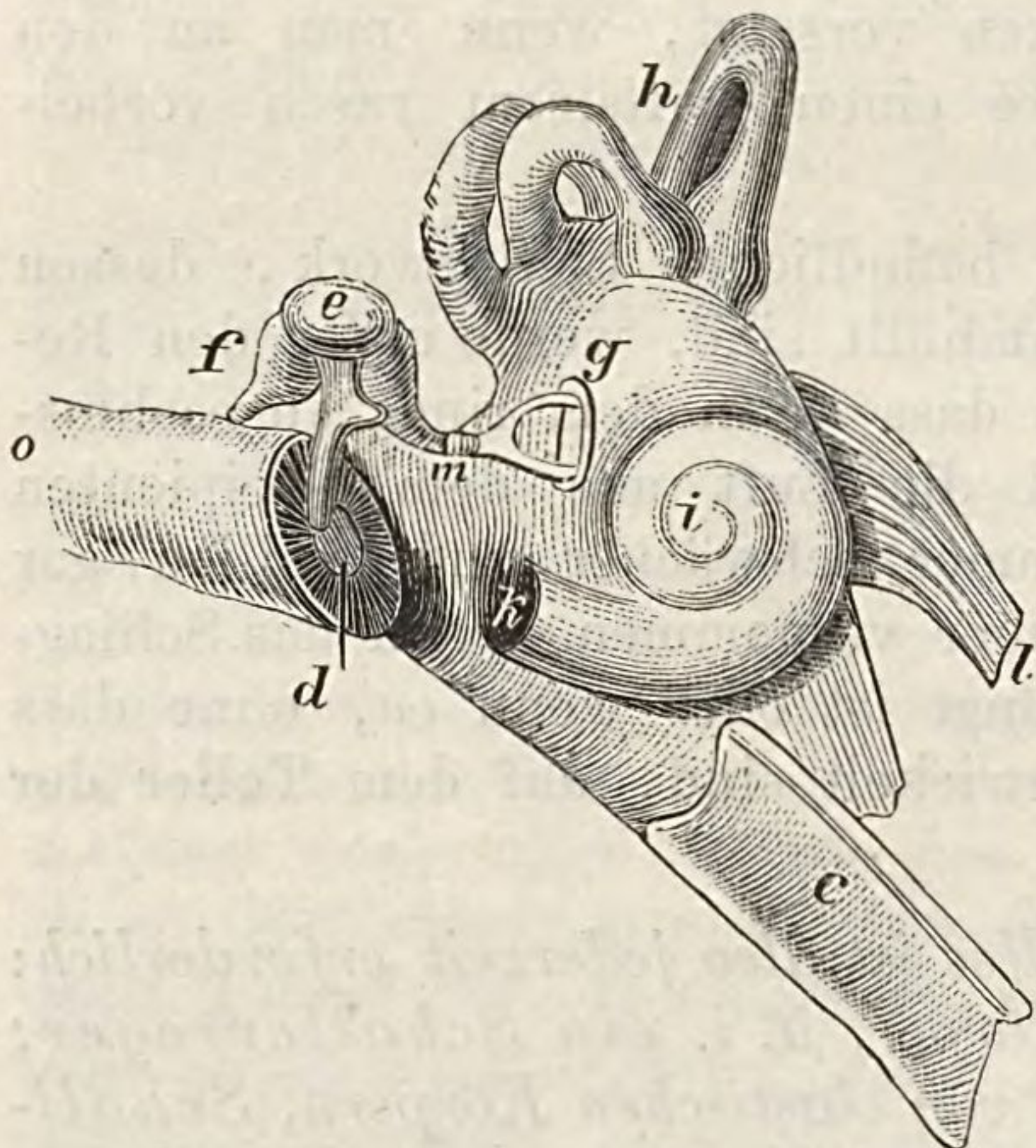
Zur Wahrnehmung eines Schalles ist also jederzeit erforderlich:
a) ein in Schwingung befindlicher Körper, d. i. ein Schallerreger;
b) dass eine ununterbrochene Folge von elastischen Körpern, Schallmittel genannt, welche den Schall fortzupflanzen vermögen, zwischen dem Schallerreger und dem Gehörorgane vorhanden ist; c) ein Gehörorgan, welches fähig ist, den Schall wahrzunehmen.

Als Schallerreger dienen entweder feste elastische Körper, und zwar Stäbe z. B. bei den Spieluhren, Saiten, wie bei den Streichinstrumenten, ebene oder gekrümmte Platten, wie z. B. bei den Glocken, Membranen, wie z. B. bei den Pauken. Sehr häufig ist die Luft der Schallerreger; so bei den Orgelpfeifen, und den verschiedenen Blasinstrumenten. — In allen Fällen, wo wir einen Schall wahrnehmen, werden vom Schallerreger auf ein Schallmittel Stösse ausgeübt, wodurch in letzterem eine Wellenbewegung mit longitudinalen Schwingungen entstehen. Auf diese Weise werden die vom schallenden Körper ausgehenden Stösse bis zu unserem Gehörorgane fortgepflanzt, welches dieselben als Schall wahrnimmt. Die dabei im Schallmittel entstehenden Wellen heissen, weil sie den Schall vermitteln helfen, *Schallwellen*; jene Gerade, welche die Fortpflanzungsrichtung einer Schallwelle für einen Punkt

angibt, heisst ein *Schallstrahl*. Das gewöhnlichste Schallmittel ist die Luft; die in ihr entstehenden Schallwellen bilden sich in der §. 134 besprochenen Weise und sind also kugelförmig. Aber auch feste und tropfbar flüssige Körper sind fähig den Schall fortzupflanzen; ja die festen Körper leiten in der Regel den Schall sogar besser als die luftartigen Körper. So hört man das Getrabe ferner Reiter sehr gut, wenn man das Ohr auf den Boden legt; man hört eine unter dem Wasser angeschlagene Glocke in und ausserhalb des Wassers; die Fische werden mitunter durch Läuten zur Fütterung gerufen. Bemerkenswerth ist auch, dass wir verschiedene Schalle zugleich wahrnehmen können, woraus folgt, dass dasselbe Schallmittel verschiedenartige Schwingungen gleichzeitig und gleich schnell fortzupflanzen vermag.

Das *Gehörorgan* besteht aus dem äusseren und inneren Ohr. Das äussere Ohr wird von der Ohrmuschel und dem Gehörgange *o* (Fig. 204) gebildet, und durch eine feine, gespannte

Fig. 204.



Membran *d*, das Trommelfell, von dem inneren Ohr getrennt. Unmittelbar hinter dem Trommelfell befindet sich die Paukenhöhle. Dieselbe ist eine Höhlung, welche so wie das innere Ohr in dem Felsenbeine des Schädels liegt, mit einer feinen Haut ausgekleidet mit Luft gefüllt ist und durch einen Kanal, die Eustachische Trompete *c* mit der Mundhöhle und so mit der äusseren Luft in Verbindung steht; die Luft in der Paukenhöhle hat daher dieselbe Spannkraft wie die äussere Luft. In der Paukenhöhle befinden sich vier mit einander verbundene Knöchelchen: der Hammer *e*, welcher

mit seinem Stiele am Trommelfell angewachsen ist, und mit seinem Köpfchen auf dem Ambos *f* aufruht; dieser ist durch das Sylvische Bein *m* mit dem Steigbügel verbunden, welcher mit einem Häutchen verwachsen ist, welches das ovale Fenster *g* des Vorhofes verschliesst. Der Vorhof, drei halbzirkelförmige Kanäle *h* und die Schnecke bilden das Labyrinth oder das eigentliche innere Ohr, welches mit einer schleimigen Haut ausgekleidet und mit einer wässrigen Flüssigkeit gefüllt ist; im Inneren breitet sich der Gehörnerv *l* aus. Das sogenannte runde Fenster *k* der Schnecke ist durch eine feine Membran verschlossen.

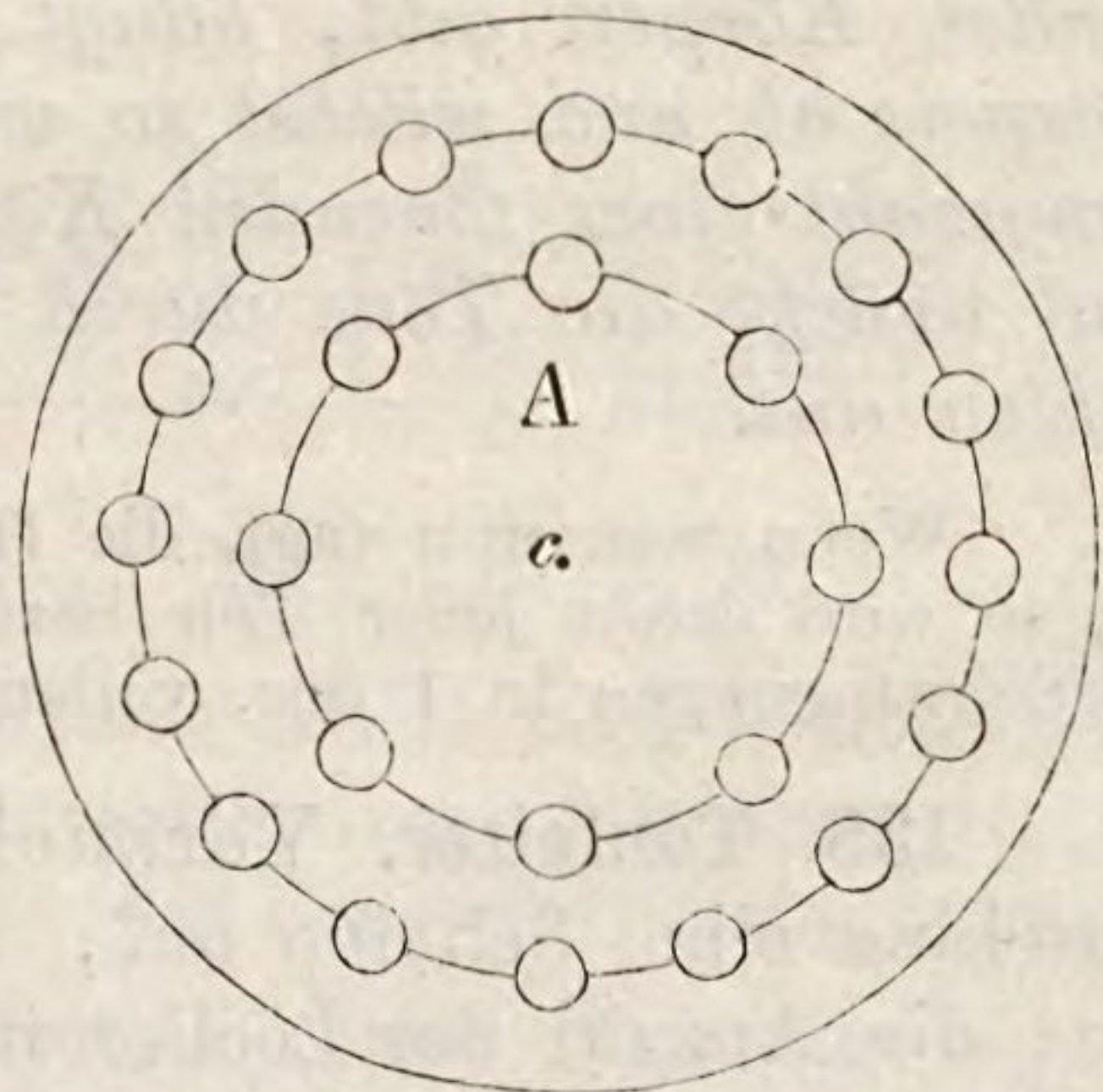
Die in der Luft erregten Schallwellen werden von der Ohrmuschel aufgefangen, und gelangen durch den Gehörgang zum Trommelfell, welches in Schwingungen versetzt wird. Vom Trommelfell wird die schwingende Bewegung auf die in der Paukenhöhle befindliche Luft und auf die Gehörknöchelchen übertragen und so bis zum Gehörnerven im Labyrinth fortgepflanzt.

Das Trommelfell kann zerrissen werden, ohne dass man das Gehör verliert; wenn aber der Steigbügel vom ovalen Fenster getrennt, oder die Membran des runden Fensters *k* zerrissen wird, so tritt unheilbare Taubheit ein, weil dann die Flüssigkeit aus dem Labyrinth fliesst. — Die Zähne und Knochen des Kopfes pflanzen auch den Schall bis zum Gehörnerven fort, wovon man sich überzeugt, wenn man einen tönenden Körper an die Zähne hält.

136. Arten des Schalles. Feuert man eine Pistole ab, oder entzündet man eine mit Knallgas gefüllte Seifenblase, so entsteht nur eine plötzlich abgebrochene Erschütterung in der Luft, die auch nur einen einzigen, plötzlichen Eindruck auf das Gehörorgan hervorbringt, welchen man *Knall* nennt. Verharrt hingegen der Schallerreger durch längere Zeit in schwingender Bewegung, so entstehen in dem ihn umgebenden Schallmittel in Folge der sich wiederholenden Erschütterungen mehrere Wellenzüge, wovon jeder auf das Ohr einen Stoss ausübt. Folgen diese Stösse rasch genug aufeinander, so hört das Ohr entweder ein *Geräusch* oder einen *Klang*, je nachdem die Stösse unregelmässig und ungleichartig, oder regelmässig und gleichartig erfolgen. Zu den Geräuschen gehören z. B. das Brausen des Windes, das Rasseln des Wagens, das Plätschern des Wassers u. s. w.; die verschiedenen musikalischen Instrumente geben Klänge. Beim Heulen des Windes z. B. merkt man ganz deutlich, wie der Schall bald sich langsam in die Höhe zieht, bald wieder allmählig sinkt. Bei einem Geräusche nimmt also das Ohr einen Wechsel in der Empfindung wahr, während beim Klange einer Saite die Schallwahrnehmung sich durchweg gleich bleibt.

137. Tonhöhe. *Die Klänge unterscheiden sich zunächst durch ihre Höhe;* wird bei einem Klange auf Höhe und Tiefe Rücksicht genommen, so heisst man denselben gewöhnlich *Ton*. Um zu erfahren, von welchen Umständen die Tonhöhe abhängt, benützen wir die sogenannte Syrene. Dieselbe besteht in ihrer einfachsten Form, welche ihr der Physiker Seebeck gegeben hat, aus einer dünnen kreisrunden Scheibe *A* (Fig. 205), an welcher in mehreren concentrischen Kreisen von einander gleichweit abstehende Löcher angebracht sind; in der Figur sind zwei solche Kreise verzeichnet, wovon der innere 8, der äussere 16 Löcher besitzt. Hält man über eines der Löcher die eine Öffnung eines Röhrchens und bläst durch das letztere, während man die Scheibe mit Hilfe der Centrifugalmaschine um die durch *c* gehende Axe rasch aber gleichförmig dreht, so tritt aus dem Röhrchen, so oft ein Loch unter der Öffnung vorbeigeht, die Luft frei heraus und übt auf die unter der Öffnung befindliche Luft einen Stoss aus; dagegen wird die Luft am Austritte gehindert, wenn ein nicht durchbohrter

Fig. 205.



Theil der Scheibe an der Röhrenmündung vorübergeht. Während einer jeden Umdrehung der Scheibe werden daher auf die Luft so viel Stösse ausgeübt, als in dem Kreise, über welchem das Röhren gehalten wird, Löcher angebracht sind. Macht die Scheibe z. B. in einer Secunde eine Umdrehung, so werden in der Luft in 1 Secunde 8 oder 16 Stösse erzeugt, je nachdem das Röhren gegen den äusseren oder inneren Kreis gerichtet ist; in dem ersten Falle werden aber $8 \times 12 = 96$, im zweiten $16 \times 12 = 192$ Luftstösse entstehen, wenn die Scheibe in 1 Secunde 12 Umdrehungen vollendet. Man findet also die in einer Secunde erzeugten Luftstösse, wenn man die Anzahl der Löcher der angeblasenen Reihe mit der Anzahl der in einer Secunde gemachten Umdrehungen der Scheibe multipliciert. Jeder gegen die Luft ausgeübte Stoss erzeugt in dieser eine schwingende Bewegung, welche sich in Form einer Kugelwelle bis zum Ohre weiter verbreitet und auf das letztere einen Impuls ausübt. Weil nun die Löcher jeder einzelnen Reihe gleiche Abstände haben, und die Scheibe mit unveränderter Geschwindigkeit gedreht wird, so folgen die einzelnen Luftstösse in gleichen Zeiträumen, also regelmässig auf einander; das Ohr empfängt daher regelmässige, durchweg gleichartige Eindrücke, und nimmt, wenn diese auch rasch genug aufeinander folgen, einen Klang wahr.

Versuch. Man setze auf die Centrifugalmaschine eine Scheibe welche zwei Reihen mit gleich viel Löchern enthält, auf, und drehe hinreichend schnell, aber stets gleichförmig. Man nimmt jedesmal denselben Ton wahr, mag man die eine oder die andere Reihe anblasen. Der Ton wird höher, sobald man rascher dreht und dadurch die Anzahl der in einer Secunde erzeugten Luftstösse vermehrt; der Ton wird zweimal höher, wenn zweimal mehr Stösse in einer Secunde entstehen. Hieraus folgt:

Die Tonhöhe hängt ab von der Anzahl der Stösse oder Schwingungen, welche während einer Secunde in der Luft erzeugt werden. Da nun ein tönender Körper in der ihn umgebenden Luft während einer Secunde so viele Schwingungen erregt, als er selbst ausführt, so kann man auch sagen: Die Höhe des Tones, welchen ein schwingender Körper gibt, hängt nur von der Schwingungszahl dieses Körpers ab und wächst so wie diese. Man sieht daher die Schwingungszahl eines tönenden Körpers als das Maass der Tonhöhe an, und drückt die Töne durch die ihnen entsprechenden Schwingungszahlen aus.

Wenn man nun sagt, die Höhe des Tones, welchen eine Saite gibt, ist 48, so wird damit jener Ton bezeichnet, welchen die Saite liefert, wenn sie 48 Schwingungen in 1 Sec. vollendet.

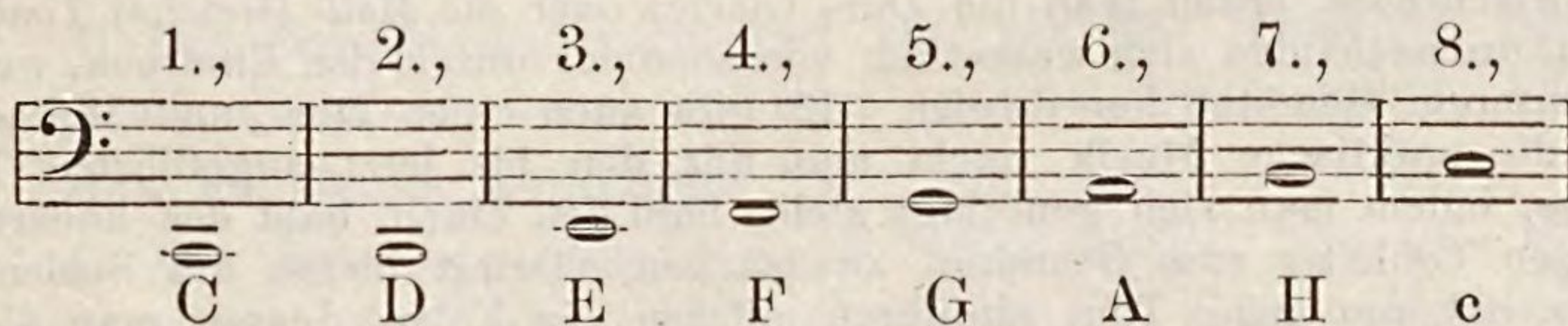
138. Tonleiter. Versuch a). Man setze auf die Centrifugalmaschine eine Scheibe auf, welche acht concentrische Löcherreihen hat; die Anzahl der Löcher in den einzelnen Reihen sei vom Centrum gegen den Rand hin: 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48. Bläst man bei unveränderlicher Umdrehungsgeschwindigkeit abwechselnd die innerste und äusserste Reihe an, so entstehen zwei Töne, deren Schwin-

gungszahlen sich offenbar verhalten wie 24 : 48 oder wie 1 : 2. Bläst man beide Reihen zugleich an, so klingen die Töne so innig in einander über, dass das Ohr fast nur einen Ton zu hören glaubt und dass ihm der Ton der äussersten Reihe gleichsam als eine höhere Wiederholung des Tones, welchen die innerste Reihe gibt, erscheint.

Versuch *b*). Bläst man bei gleichbleibender Geschwindigkeit die einzelnen Löcherreihen, von der innersten zur äussersten fortschreitend nach einander an, so erhält man 8 verschiedene Töne, welche in ihrer Aufeinanderfolge einen angenehmen Eindruck auf das Ohr hervorbringen.

Man nennt einen Ton, welcher zweimal höher erscheint als ein anderer, die *Octav* (von octavus = der achte) des letzteren, weil sich, wie der Versuch *b*) zeigt, zwischen beiden noch sechs andere Töne einschalten lassen, so dass man acht Töne erhält, welche in ihrer Aufeinanderfolge auf unser Gehör einen angenehmen Eindruck hervorbringen. Den Inbegriff dieser acht Töne hat man die *Tonleiter* oder *Scala* genannt. Man zählt die Töne der Tonleiter vom tieferen zum höheren fortschreitend und gibt ihnen in dieser Reihenfolge die Namen: *Prim*, *Secund*, *Terz*, *Quart*, *Quint*, *Sext*, *Septim*, *Octav* (d. i. der 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8. (Ton nämlich). Hört man die acht Töne der Tonleiter von der Prim zur Octav hin nacheinander, so bezieht das Ohr die einzelnen Töne unwillkürlich auf die Prim, um die Höhe leichter beurtheilen zu können. Man nennt daher die Prim oder jenen Ton, mit welchem man die anderen Töne der Scala rücksichtlich ihrer Höhe vergleicht, den *Grundton*. Man erhält verschiedene Scalen, je nachdem man diesen oder jenen Ton zum Grundton nimmt.

Behufs der einfacheren Bezeichnung der Töne bedienen sich die Musiker der Noten; in Deutschland wendet man aber auch die Buchstaben des lateinischen Alphabets an. Nimmt man z. B. den mit C bezeichneten Ton als Grundton an, so werden die Töne, welche der ihm entsprechenden Scala angehören, in der aus folgendem Schema ersichtlichen Weise durch Buchstaben ausgedrückt, denen die entsprechenden Notenwerthe beigelegt sind.



Nimmt man den Ton c zum Grundton, so erhält man wieder acht Töne oder eine neue höhere Octav. Man bezeichnet dieselbe durch die kleinen Buchstaben c, d, e, f, g, a, h; die darauf folgende Octav wird mit $\bar{c}$, $\bar{d}$, $\bar{e}$, $\bar{f}$, $\bar{g}$, $\bar{a}$, $\bar{h}$ bezeichnet und bei jeder folgenden Octav wird die Anzahl der Striche um eins vermehrt. Die unterhalb C liegenden Octaven werden dadurch ausgedrückt, dass man unter die grossen Buchstaben Striche setzt. So bedeutet z. B. $\bar{\bar{C}}$ die tiefere

Octav von C, oder das sogenannte Contra - C, welches das tiefste C des Claviers und der meisten Orgeln ist.

Aus der Art und Weise, wie wir beim Versuche *b*) die Töne der Tonleiter erzeugt haben, ist zu ersehen, dass sich die Schwingungszahlen, oder die Tonhöhen von je zweien der Töne so zu einander verhalten, wie die Löcheranzahlen jener Reihen, durch deren Anblasen sie entstanden sind. Die Töne der Scala verhalten sich daher rücksichtlich ihrer Höhe wie die hier angesetzten Zahlen:

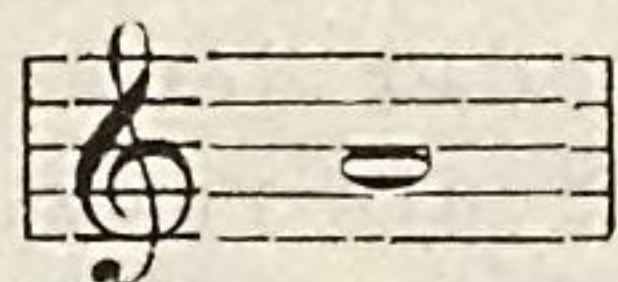
$$\begin{array}{cccccccc} \text{C} & : & \text{D} & : & \text{E} & : & \text{F} & : & \text{G} & : & \text{A} & : & \text{H} & : & \text{c} \\ 24 & : & 27 & : & 30 & : & 32 & : & 36 & : & 40 & : & 45 & : & 48. \end{array}$$

Dividirt man alle diese Zahlen durch 24, so erhält man:

$$\begin{array}{cccccccc} \text{C} & : & \text{D} & : & \text{E} & : & \text{F} & : & \text{G} & : & \text{A} & : & \text{H} & : & \text{c} \\ 1 & : & \frac{9}{8} & : & \frac{5}{4} & : & \frac{4}{3} & : & \frac{3}{2} & : & \frac{5}{3} & : & \frac{15}{8} & : & 2. \end{array}$$

Diese Zahlen nennt man die *relativen Tonhöhen*, weil sie die Höhe der Töne in Beziehung zur Höhe des Grundtones angeben, also anzeigen, um wie vielmal die Schwingungszahl eines Tones grösser ist als jene des Grundtones. Die Schwingungszahl eines Tones heisst auch die *absolute Tonhöhe* (Vgl. §. 137).

Kennt man die Schwingungszahl des Grundtones, so lässt sich die eines jeden anderen Tones berechnen. Die Schwingungszahl von C z. B. sei 64; jene von D ist daher $64 \times \frac{9}{8} = 72$, jene von c aber $64 \times 2 = 128$. Welches ist die Schwingungszahl von G, g, E u. s. w.? Um die Tonhöhen der in der Musik gebräuchlichen Scala zu bestimmen, nimmt man nach Scheibler den Ton $\bar{a}$ d. i.



mit 440, oder neuestens nach der Pariser Stimmung mit 437.5 an.

Wenn zwei Töne, die man zusammen hört, das Gehör angenehm berühren, d. i. einen Wohlklang (Consonanz) bilden, so heissen sie *consonierende*, im Gegentheile *dissonierende Töne*. Es consonieren in abnehmender Reihe: der Grundton und seine Octav, der Grundton mit der Quint, der Grundton mit der Quart, der Grundton mit der Terz, der Grundton mit der Sext. Mehrere consonierende Töne geben einen *Accord*, so der Grundton, die Terz und die Quint, welche den sogenannten *Dreiklang* bilden. Die Schwingungszahlen des Dreiklanges verhalten sich wie 4 : 5 : 6.

Man hat zwischen der Secund und Terz noch einen Ton eingeschaltet, dessen relative Tonhöhe $\frac{6}{5}$ ist. Dieser Ton wird die *kleine Terz* genannt. Je nachdem man vom Grundton durch die grosse oder durch die kleine Terz zur Octav fortschreitet, erhält man die *Dur-* (harte) oder die *Moll-* (weiche) *Tonleiter*; dieselben unterscheiden sich wesentlich von einander durch den Eindruck, welchen sie in unserem Gemüthe hervorrufen. Es gibt auch einen Dur- und Mollaccord. — Für die praktische Musik reicht man mit den bis jetzt angeführten Tönen nicht aus, indem man sich genöthigt sieht, bald den einen, bald den andern Ton der obigen Tonleiter zum Grundton zu machen. Damit hiebei die Scalen rein ausfallen, hat man neue Töne einführen müssen, in Folge dessen man die aus zwölf Tönen bestehende *chromatische Scala* C, Cis, D, Dis, F, Fis, G, Gis, A, Ais, H, c erhalten hat. Die aus nur acht Tönen bestehende Scala, welche wir früher betrachtet haben, wird die *diatonische Tonleiter* genannt.

Das Ohr vermag nur dann einen Ton wahrzunehmen, wenn die Schwingungszahl innerhalb gewisser Grenzen liegt. Die Schwingungszahlen der Töne, welche überhaupt wahrnehmbar sind, liegen zwischen 16 und 38.000; diese Töne umfassen etwa 11 Octaven. Die Claviere und Orgeln haben das $\bar{\text{C}}$, wol auch $\bar{\text{A}}$ als tiefsten Ton; der höchste Ton der Claviers ist zumeist $\bar{\text{a}}$ mit 3520 oder auch das fünffach gestrichene c mit 4224 Schwin-

gungen. Der tiefste Ton der Orchesterinstrumente ist das E mit $41\frac{1}{2}$ Schwingungen, der höchste etwa das fünffach gestrichene d des Piccolo mit 4752 Schwingungen. Die unter E liegenden Töne haben jedoch schon keinen vollkommenen musikalischen Charakter, da ihre Höhen nicht mehr bestimmt wahrgenommen werden; ähnliches gilt von den Tönen, deren Schwingungszahl 4000 bedeutend übersteigt. Die musikalisch brauchbaren Töne liegen also zwischen 40 und 4000 Schwingungen und bilden sieben Octaven.

139. Tönende Saiten. Um die Gesetze der tönenden Saiten kennen zu lernen bedient man sich des Monochords (monos = ein, und chorde = Saite); dasselbe besteht aus einem Resonanzkasten, über welchen eine, wohl auch mehrere Saiten gespannt sind; mittelst eines verschiebbaren Steges lässt sich die Saite beliebig abtheilen und an einem unter ihr angebrachten Maassstab lässt sich die Länge der Theile messen; die Spannung der Saite kann durch ein an einem Hebel verschiebbares Gewicht abgeändert werden.

Versuch a). Man lasse die hinreichend gespannte Saite zuerst ihrer ganzen Länge nach schwingen, indem man dieselbe mit einem Geigenbogen anstreicht, theile sodann die Saite mit Hilfe des Steges in zwei gleiche Theile und streiche einen solchen Theil; der Ton, welchen die Hälfte der Saite gibt, ist die Octav von jenem der ganzen Saite. Lässt man nur den 4. Theil der Saite schwingen, so hört man die zweite Octav von dem ersten Tone. Da nun der 1. Octav eine 2mal, der 2. Octav eine 4mal grössere Schwingungszahl als der Prim entspricht, so folgt:

1. Die Schwingungszahl und mit ihr die Tonhöhe einer Saite wächst gerade so, wie die Saitenlänge abnimmt.

Versuch b). Spannt man auf das Monochord zwei Saiten auf, wovon die eine zweimal dicker als die andere ist, und gibt beiden dieselbe Länge und Spannung, so ist der Ton der dünneren Saite die höhere Octav von dem Tone der dickeren Saite.

2. Die Schwingungszahl und mit ihr die Tonhöhe einer Saite wächst gerade so, wie die Dicke der Saite abnimmt.

Versuch c). Spannt man dieselbe Saite viermal stärker, so gibt sie die höhere Octav von dem Tone bei einfacher Spannung; die Saite macht also 2mal mehr Schwingungen in einer Secunde.

3. Die Schwingungszahl und mit ihr die Tonhöhe nimmt so zu, wie die Quadratwurzel aus dem spannenden Gewichte wächst.

Man hat ferner gefunden:

4. Die Schwingungszahl einer Saite wächst so, wie die Quadratwurzel aus dem specifischen Gewichte der Saite abnimmt.

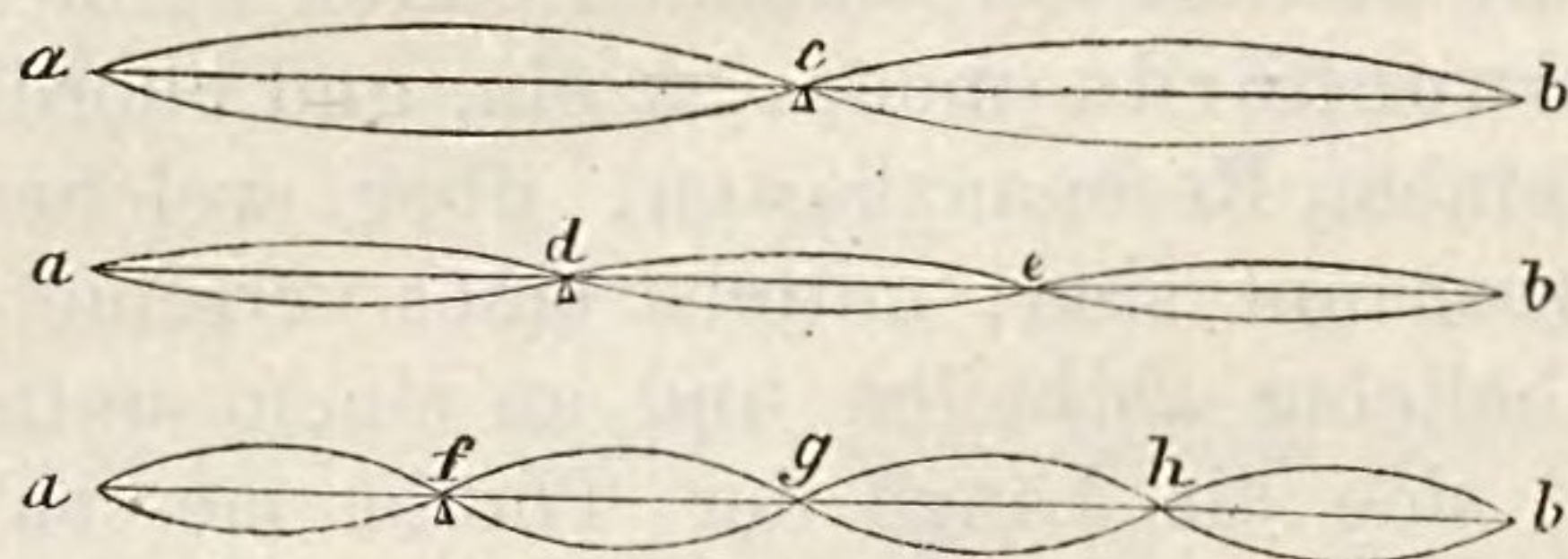
Das Gesetz 1 soll Pythagoras (zwischen 540 und 500 v. Chr.) entdeckt haben; die alten Griechen haben auf dasselbe ihr Tonsystem gegründet. — Vermöge des 1. Gesetzes kann man mit einer Saite, welche z. B. 36“ lang ist, alle Töne der diatonischen Tonleiter erzeugen, wenn man derselben durch Verschiebung des Steges Längen gibt, wie sie hier unter den betreffenden Tönen stehen.

C,	D,	E,	F,	G,	A,	H,	c,
36,	$36 \times \frac{8}{9}$,	$36 \times \frac{4}{5}$,	$36 \times \frac{3}{4}$,	$36 \times \frac{2}{3}$,	$36 \times \frac{3}{5}$,	$36 \times \frac{8}{15}$,	$36 \times \frac{1}{2}$.

Diese Längen verhalten sich verkehrt wie die relativen Tonhöhen. — Das Gesetz 2 und 3 hat Mersenne in Frankreich (1636) ermittelt.

Versuch d). Die Saite ab (Fig. 206) werde im Punkte c durch den Steg halbiert; auf cb werden Papierschnitzelchen gehängt und ac werde gestrichen; die Papierschnitzelchen fallen herab, ein

Fig. 206.



Beweis dass auch cb mitgeschwungen hat; man hört dabei die Octav von dem Tone, welchen die ganze Saite gibt. Es sei $ad = de = eb$, in d stehe der Steg, auf bd hängen wieder Papierreiterchen. Wird ad gestrichen, so hört man die zweite Quint vom Tone der ganzen

Saite; die Reiterchen fallen bis auf jenes in e ab. — Ist $af = fg = gh = hb$, und fb mit Papierreiterchen behangen, so fallen alle bis auf jene in g und h herunter, und man hört die zweite Octav, wenn af gestrichen wird. Die Schwingungsweise der Saite in den einzelnen Fällen ist aus der Figur ersichtlich.

Die Saiten theilen sich also von selbst beim Streichen in eine gewisse Anzahl gleich langer Theile, welche alle gleichzeitig schwingen, jedoch so dass, während ein Theil nach aufwärts oscilliert, die beiden benachbarten Theile nach abwärts schwingen. Je zwei solche benachbarte, im entgegengesetzten Sinne schwingende Saitentheile sind durch einen *Knotenpunkt*, d. i. durch einen Punkt getrennt, welcher beständig in Ruhe bleibt. Theilt sich dieselbe in 2 gleiche Theile, so entsteht ein Knoten; theilt sich dieselbe in 3 gleiche Theile, so entstehen 2 Knoten u. s. w., und es sind dabei Töne vernehmbar, welche sowohl mit dem Grundton der Saite, welchen sie ihrer ganzen Länge nach schwingend gibt, als auch unter einander gut consonieren. Man nennt diese Töne *harmonische Töne*.

Berührt man die Saite an einer Stelle sanft, und streicht sie mit dem Bogen recht scharf, so theilt sich die Saite auf ähnliche Weise wie vorhin ab und es entstehen die sogenannten *Flageolettöne*. Äolsharfe. — Wenn man eine lange Saite anstreicht, so theilt sie sich ebenfalls derart ab, dass jede Hälfte jedes Drittel, Viertel u. s. w. für sich schwingt; ein geübtes Ohr hört daher oft nebst dem Grundton der Saite noch die Octav, die Quint von der Octav, die zweite Octav u. s. w. — Man kann auch Saiten in longitudinale Schwingungen versetzen, wenn man der Länge nach mit dem Bogen hin- und herstreicht; die Klänge sind jedoch unangenehm und daher unbrauchbar. Die Saiten werden bei der Violine, Viola, kurz den Streichinstrumenten, ebenso bei der Cither, Harfe, dem Clavier, dem Cymbal u. s. w. verwendet.

140. Tönende Stäbe und Platten. Elastische Stäbe, z. B. Stahlstäbe, kann man zum Tönen bringen, wenn man sie an einer oder an zwei Stellen festhält und sie entweder schlägt oder streicht; die Stäbe gerathen dabei in Querschwingungen. Reibt man einen Holzstab mit einem Tuchlappen, der mit Geigenharz bestreut ist, so geräth derselbe in longitudinale Schwingungen und gibt einen Ton. In dem einen wie in dem anderen Falle entstehen an den Stäben Knoten-

punkte; die Höhe des Tones hängt von der Länge, Dicke und von der Stelle ab, an welcher der Stab festgehalten wird.

Die Stimmgabel besteht aus einem hufeisenförmig gebogenen Stahlstab, welcher gewöhnlich durch Anschlagen zum Tönen gebracht wird. Stahlstäbe kommen auch bei der Eisenvioline zur Anwendung.

Versuch. Man befestige eine Glas- oder Messingplatte in einem oder in mehreren Punkten, bestreue sie gleichmässig mit feinem Sande und streiche sie mit einem Bogen an; man hört einen Ton, der Sand geräth in Bewegung und häuft sich in bestimmten Linien an, welche eigenthümliche Figuren, die sogenannten *Chladni'schen Klangfiguren*, bilden. — Fig. 207 stellt einige Klangfiguren vor; *b* ist der festgehaltene Punkt, *a* die gestrichene Stelle.

Fig. 207.

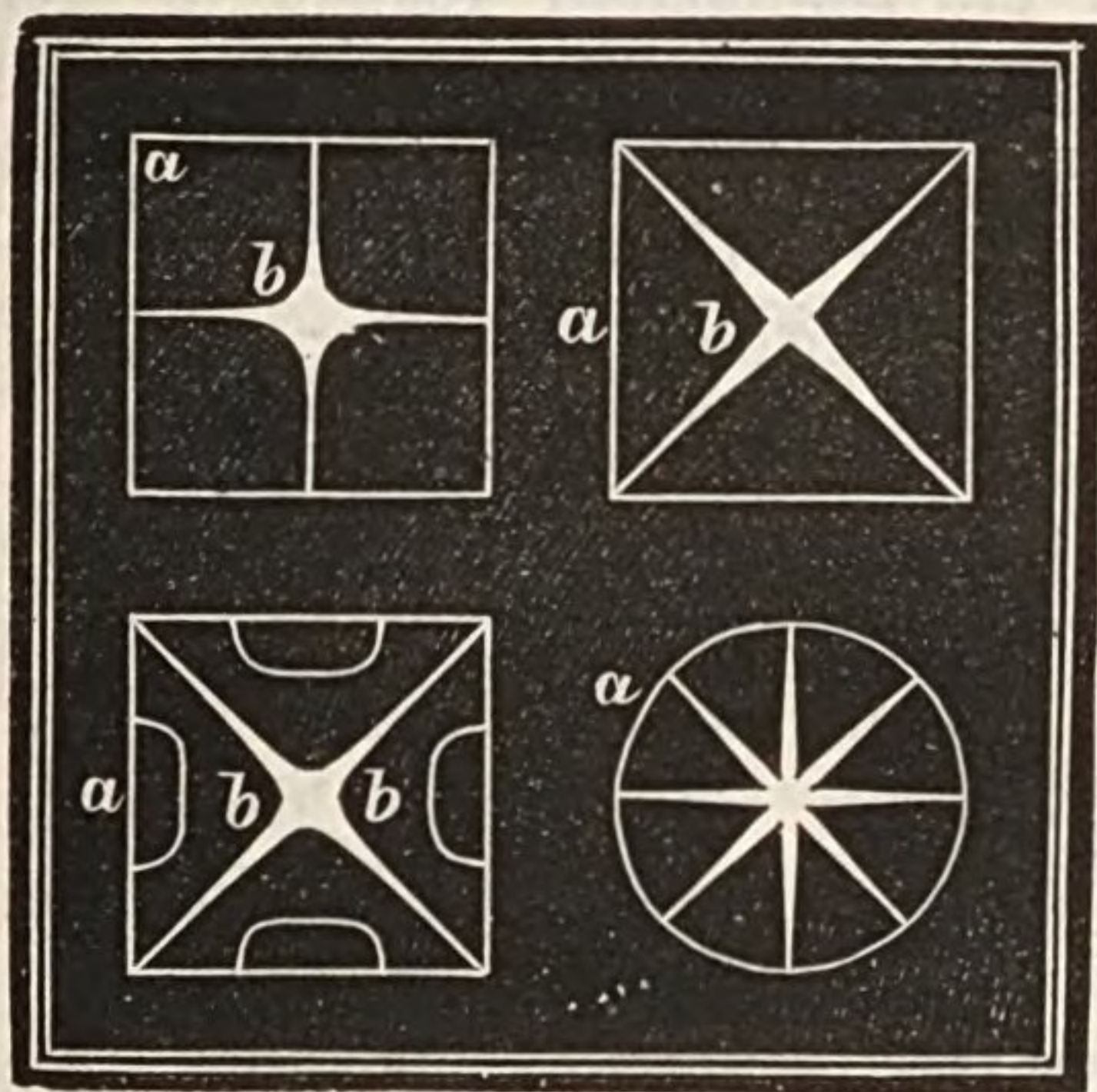
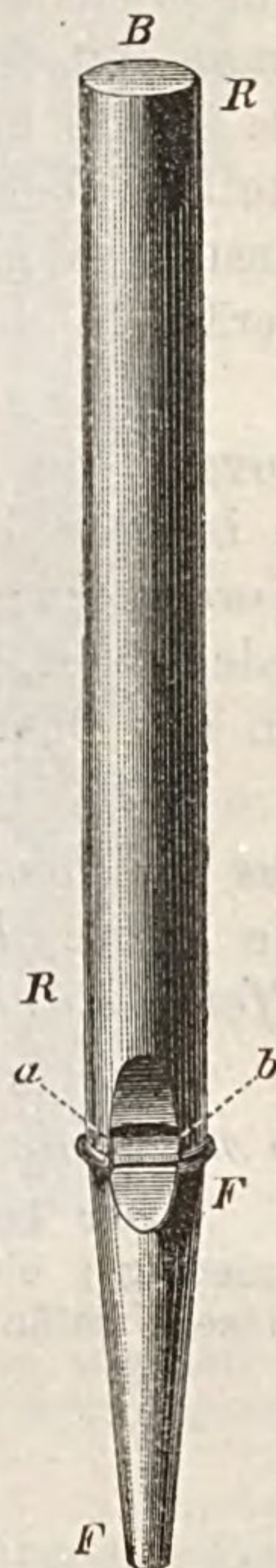


Fig. 208.



Fig. 209.



Die Klangfiguren entstehen, weil die tönende Platte sich in Theile abtheilt, wovon je zwei benachbarte nach entgegengesetzten Richtungen schwingen und durch Knotenlinien von einander getrennt sind. Die Theilchen der Platte, welche in den Knotenlinien liegen, nehmen an der Schwingung keinen Antheil. Durch den Punkt der Platte, welcher festgehalten wird, geht immer eine Knotenlinie, die Form der Klangfigur ändert sich daher, wenn man die Platte an einer anderen Stelle festhält; ebenso auch, wenn die Platte an einer anderen Stelle gestrichen wird. Je höher der Ton desto zusammengesetzter erscheint die Figur; ein Beweis, dass bei derselben Platte der Ton um so höher wird, in je kleinere Theile sich dieselbe abtheilt.

Ähnliches gilt von gespannten Membranen, gekrümmten Platten, Gefässen, welche durch Anschlagen, Reiben oder Streichen zum Tönen gebracht werden. Trommel, Pauke, Glockenspiele, Glasharmonika.

141. Pfeifen. Man unterscheidet zweierlei Pfeifen, Lippen- (Labial-) und Zungenpfeifen. Die Lippenpfeifen (Fig. 208, 209)

bestehen aus einer viereckigen, oder einer cylindrischen Röhre RR , an welcher unten die durch eine scharfe Lippe ab begrenzte Mundöffnung angebracht ist. Die Röhre ist am oberen Ende entweder offen (so bei A , Fig. 208) oder geschlossen (so bei B , Fig. 209); im ersteren Falle heisst die Pfeife eine offene im zweiten eine gedeckte Pfeife. Wird durch den Fuss FF aus einem Blasebalg Luft in die Pfeife getrieben, so gelangt dieselbe zunächst in die Luftkammer K (Fig. 208); aus dieser kann die Luft nur durch den engen Spalt cd , zwischen der Röhrenwand und dem Kerne d entweichen, so dass sie gerade gegen den scharfen Rand der Lippe getrieben wird. Dieser Luftstrom übt gegen die in RR befindliche Luft einen Stoss aus, wodurch diese in eine schwingende Bewegung versetzt wird. Dass die in RR befindliche Luftmasse schwingt und dass in ihr Knoten sich bilden sieht man, wenn man eine über ein Rähmchen gespannte Membrane mit feinem Sande bestreut und in RR von oben einführt; wird die Pfeife angeblasen, so kommt der Sand in Bewegung, an gewissen Stellen aber bleibt er in Ruhe. Wird die Pfeife entsprechend angeblasen, so gibt sie einen Ton, sonst nur ein zischendes oder sausendes Geräusch.

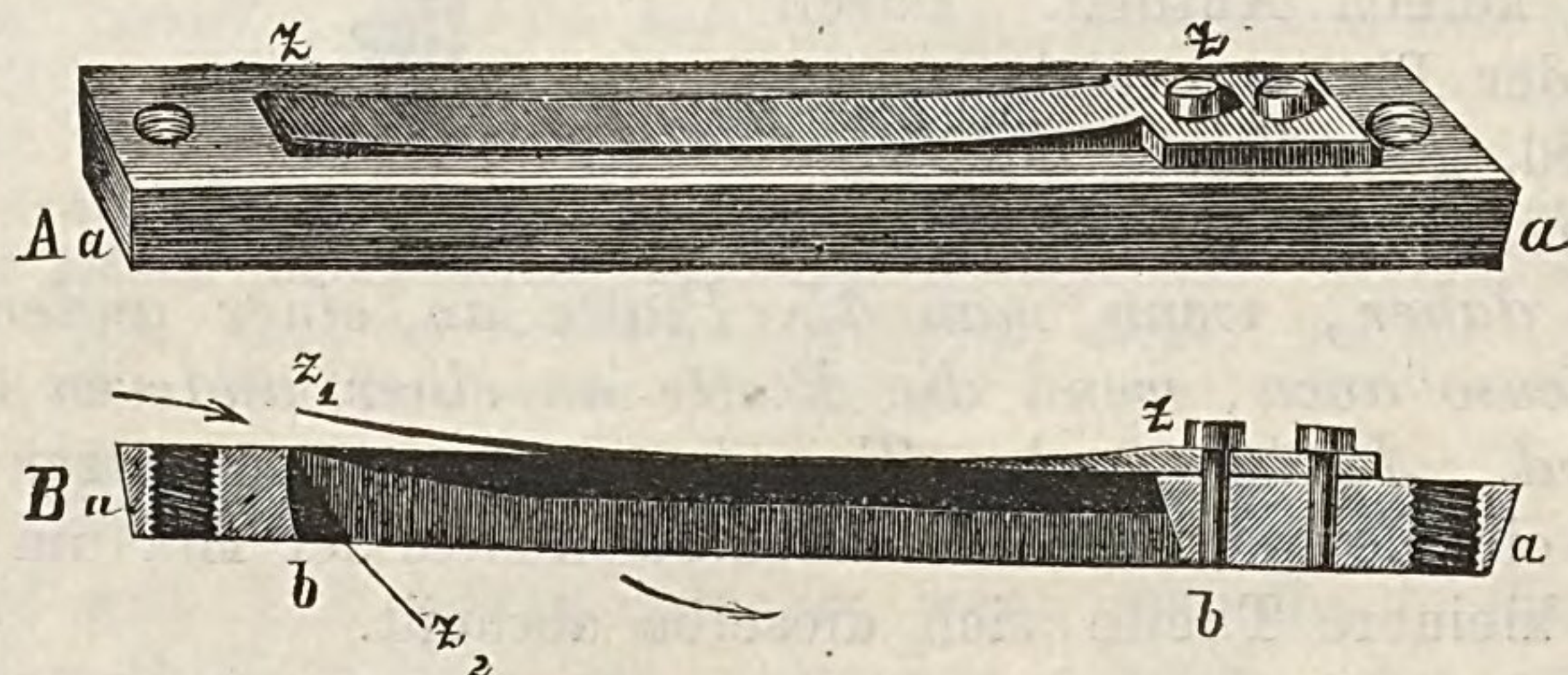
Versuch. Bläst man zwei offene oder zwei gedeckte Pfeifen, wovon die eine halb so lang als die andere ist, gleichmässig an, so ist der Ton der kürzeren die Octav von jenem der längeren Pfeife. Werden zwei gleich lange Pfeifen, wovon die eine offen, die andere gedeckt ist, gleichmässig angeblasen, so gibt die offene Pfeife einen um die Octav höheren Ton als die gedeckte Pfeife.

Die Höhe des Tones einer Pfeife hängt nicht von dem Stoffe, aus welchem die Pfeife besteht, ab; der Ton wird aber höher, wenn die Röhre RR , d. i. die Pfeifenlänge verkürzt, oder wenn die Pfeife stärker angeblasen wird.

Soll eine gedeckte Pfeife denselben Ton wie eine offene geben, so muss sie halb so lang als die letztere sein.

Der Ton einer offenen Pfeife wird durch theilweise Deckung des Rohres erniedrigt; ebenso ändert sich die Tonhöhe mit der Breite der Mundöffnung. Diese Umstände werden bei der Stimmung der Pfeifen berücksichtigt.

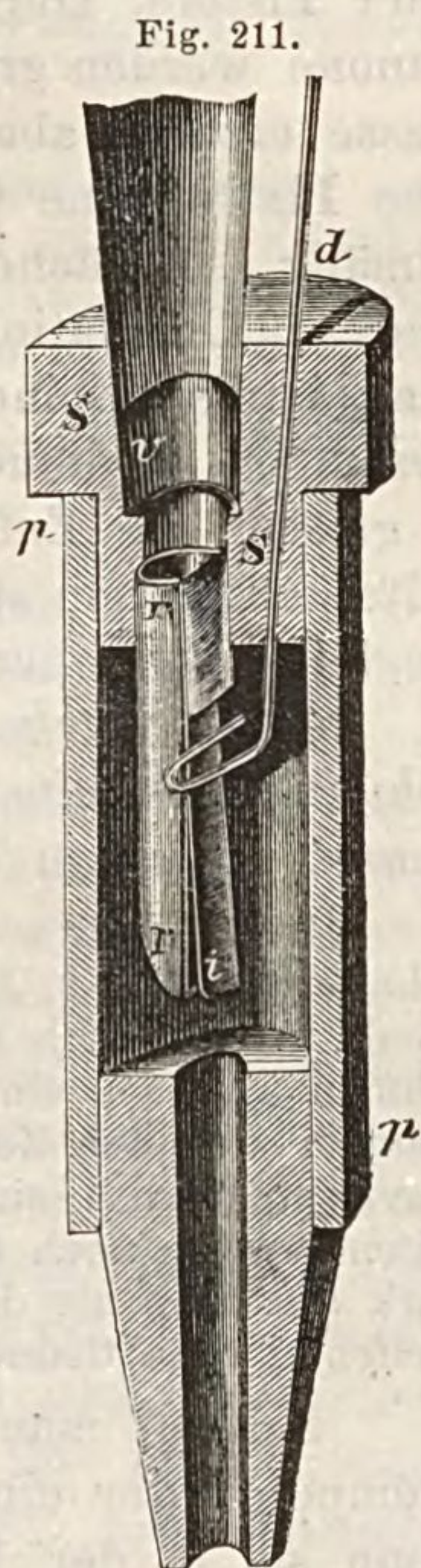
Fig. 210.



In einer Metallplatte aa (Fig. 210, A , B) ist eine längliche, viereckige Öffnung bb angebracht; über derselben befindet sich ein gleichgeformtes, elastisches Metallplättchen z , von welchem die Öffnung bis auf einen möglichst feinen Spalt längs des Randes gedeckt

wird. Versetzt man das Plättchen z , welches die Zunge genannt wird in Schwingungen, so oscilliert es zwischen den Lagen z_1 und z_2 hin und her, ohne dabei die Ränder der Öffnung zu berühren; der Luft wird in der Richtung des Pfeiles der Eintritt in die Öffnung bb von der Zunge bald gestattet, bald verwehrt. Durch das Zusammenwirken der schwingenden Zunge und der regelmässig auf einander folgenden Luftstösse entsteht ein Ton, welcher bei Verkürzung der Zunge höher wird. Mundharmonika.

Zungen kommen auch bei Pfeifen in Anwendung; Fig. 211 stellt eine *Zungenpfeife* vor. pp ist ein Rohr, in welchem mit Hilfe des Stopfens SS die mit der Zunge i versehene Rinne rr befestigt ist. In der Öffnung v wird gewöhnlich ein becherförmiges Rohr (Schallbecher) angesetzt. Treibt man durch den Fuss der Pfeife Luft nach pp , so wird i in Schwingungen versetzt, wodurch auch die Luft im Schallbecher zum Mitschwingen angeregt wird; der dabei entstehende Ton hängt von der Länge der Zunge und des Ansatzrohres ab. Mit Hilfe des Stimmdrahtes d lässt sich die Länge der Zunge und zugleich die Tonhöhe abändern.



Die verschiedenen Blasinstrumente sind Anwendungen der Lippen- und Zungenpfeifen. Die Orgelpfeifen, die Flöte gehören zu den Lippenpfeifen; die Clarinette, Fagotte, Oboe sind Zungenpfeifen, bei welchen die Zungen aus Rohrplatten geschnitzt sind. Durch Anbringung von Seitenöffnungen und durch abwechselndes Öffnen und Schliessen derselben lassen sich die verschiedenen Töne hervorrufen. Waldhörner, Trompeten, Posaunen werden mittelst eines kesselförmigen Mundstückes mit dem Munde angeblasen, wobei sich die Lippen des Mundes abwechselnd öffnen und schliessen. Indem der Spieler die Stärke des Anblasens modificiert kann er die Höhe des Tones abändern; diess geschieht bei den Waldhörnern auch durch theilweises Verschliessen der erweiterten Öffnung am andern Ende des Rohres; bei Posaunen lässt sich ein Röhrenstück auf einem andern hin- und herschieben, wodurch die Länge und die Tonhöhen abgeändert werden können. Bei Hörnern, Trompeten u. dgl. wird die Länge der Röhre durch Aufsetzen von gekrümmten Röhrenstücken verändert.

Zu den Zungenpfeifen gehört auch das menschliche Stimmorgan. Dasselbe besteht aus der Luftröhre, welche aus knorpeligen, durch eine Haut verbundenen Ringen zusammengesetzt ist und an deren oberem Ende der Kehlkopf aufsitzt. Der Kehlkopf wird von mehreren Knorpeln gebildet, welche durch Muskeln und Bänder zusammengehalten werden; an denselben sind die Stimmbänder befestigt, welche die Luftröhre bis auf eine schmale Spalte, die Stimmritze genannt, verschliessen. Letztere kann durch den Kehildeckel verschlossen werden, damit keine Speisen in die Luftröhre gelangen. Lässt man aus der Brust einen Luftstrom empor, so werden die Stimmbänder ähnlich wie eine Zunge in Schwingungen versetzt, und geben einen Ton; die Mundhöhle wirkt wie der Schallbecher bei den Zungenpfeifen. Weil die Weite der Stimmritze die Spannung und selbst die Form der Stimmbänder sowie auch die Form der Mundhöhle willkürlich äusserst schnell und sicher abgeändert werden können, so ist der Mensch im Stande, die grösste Mannigfaltigkeit von Klängen hervorzurufen. Der Umfang der menschlichen Stimme erstreckt sich nicht ganz auf vier Octaven,

von E bis $\overset{=}{c}$; dieser Umfang findet sich aber nicht bei einem und demselben Menschen vor. Die Länge der Stimmbänder hat auf den Umfang der Stimme Einfluss.

142. Stärke des Schalles. Klangfarbe. Mittönen. Je stärker uns der wahrgenommene Schall erscheint, desto stärker muss offenbar der Impuls gewesen sein, welcher auf unser Gehörorgan ausgeübt worden ist. Nun lehrt die Erfahrung, dass eine grosse Glocke stärker klingt als eine kleine, dass der Knall einer Kanone viel kräftiger ist als der einer Pistole. Durch die grössere Glocke und durch das Abfeuern der Kanone werden grössere Luftmassen in Bewegung versetzt, die grössere Masse erzeugt aber den stärkeren Stoss. — Schlägt man eine Saite eine Platte, eine Glocke an, so ist der Klang anfangs stark, und wird allmählig schwächer. Wir wissen aber, dass die Schwingungsweite eines in Oscillation versetzten Körpers anfangs am grössten ist und dann immer kleiner wird. — Wird eine Pistole in verschiedenen Entfernungen abgefeuert, so wird der Knall um so schwächer vernommen, je grösser die Entfernung ist. (Vgl. §. 134). Die höheren Töne einer Saite erscheinen stärker als die tiefen; bei den höheren Tönen schwingt die Saite schneller. Man ruft in die Ferne mit erhöhter Stimme.

Die Stärke des Schalles wächst mit der Masse, mit der Schwingungsweite und Schwingungsintensität des Schallerregers; sie nimmt ab, wenn die Entfernung vom Schallerreger zunimmt.

Der Schall wird 2^2 , 3^2 , 4^2 , ... mal schwächer, wenn die Entfernung vom Schallerreger 2, 3, 4, ... mal grösser wird. In der Richtung, in welcher der Schall ursprünglich erregt wurde, ist der Schall kräftiger und deutlicher zu vernehmen als nach einer andern Richtung; so wird ein Sprecher besser vernommen, wenn er sich den Zuhörern mit dem Gesichte zuwendet. Auf Streichinstrumenten, Clavieren, u. dgl. sind die Saiten, welche die tieferen Töne geben dicker, Darmsaiten werden noch mit Metalldraht umspinnen, damit die tieferen Töne eben so stark ausfallen als die hohen. Aus gleichem Grunde werden bei den Orgeln die Pfeifen für die tieferen Töne von grösserem Querschnitte genommen.

Schlägt man einen und denselben Ton mit einer Clarinette, Trompete oder einer Violine an, so wird man bei diesen Tönen, selbst wenn sie in der Höhe und Stärke genau übereinstimmen, doch einen eigenthümlichen Unterschied wahrnehmen, welchen man mit dem Namen *Klangfarbe* bezeichnet. Die Klangfarbe, nach welcher wir ein bestimmtes Instrument wieder erkennen, kann oft bei demselben Instrumente abgeändert werden; diess ist bei den Streichinstrumenten, insbesondere aber bei der menschlichen Stimme sehr leicht möglich. Durch die Klangfarbe characterisieren wir beim Sprechen die verschiedenen Buchstaben.

Versuch. Sind auf einem Monochord zwei gleich gestimmte Saiten aufgespannt, und streicht man die eine davon an, so gibt auch die andere ihren Ton, welchen man hört, wenn die gestrichene Saite schnell am Schwingen gehindert wird. Die zweite Saite schwingt also mit, was man an den Papierschnitzelchen erkennt, welche vorher auf die Saite gelegt wurden. — Setzt man unter die eine Saite einen Steg, so dass man $\frac{1}{4}$ der Saitenlänge absondert, und streicht man dieses Viertel, so hört man die zweite Octav des Tones der ganzen Saite. Hält man die gestrichene Saite rasch fest, so hört man den Ton noch

fort; ein Beweis, dass die andere Saite, welche nicht abgetheilt und nicht gestrichen worden ist, ebenfalls mitschwingt und sich dabei von selbst in vier gleiche Theile getheilt hat.

Durch einen tönenden Körper können in einem anderen benachbarten Körper Schwingungen, welche mit seinen eigenen ganz gleiche Beschaffenheit haben, erzeugt werden, so dass dieser zweite Körper denselben Ton wie der erstere gibt. Man nennt diese Erscheinung das Mittönen oder Resonanz. Ein Körper tönt nur dann mit, wenn er denselben Ton, wie der ursprünglich tönende Körper zu geben vermag.

Eine Stimmgabel gibt für sich einen kaum vernehmlichen Klang; setzt man sie auf den Tisch oder auf ein entsprechendes, mit Luft gefülltes Kästchen, so wird der Ton recht kräftig; die Resonanz verstärkt den Ton. Daher werden bei Saiteninstrumenten Resonanzkästen angewendet; das hiezu benutzte Holz muss recht elastisch sein. Der Ton der Stimmbänder wird durch das Mittönen der in der Mundhöhle befindlichen Luft verstärkt; ähnlich wirkt die Mundhöhle beim Gebrauche der Maultrommel.

143. Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Um die Geschwindigkeit zu finden, mit welcher der Schall sich in der Luft fortpflanzt, hat man an zwei Orten *A, B* zur Nachtzeit zwei Kanonen gleichzeitig und nach gerade entgegengesetzten Richtungen abgefeuert. An jedem Orte befand sich ein Beobachter, welcher die Zeit zu ermitteln hatte, die zwischen der Wahrnehmung des Funkens und der Wahrnehmung des Knalles der am andern Orte befindlichen Kanone verfließt. Diese Zeit gibt eben die Anzahl der Secunden an, welche der Schall braucht, um sich von einem Orte zum andern fortzupflanzen; wird die Entfernung der beiden Orte durch die beobachtete Zeit dividiert, so erhält man *die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles*; dieselbe *beträgt in der Luft etwa 1050 Fuss. Man hat ferner gefunden, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles vom Luftdrucke unabhängig ist, dass sie aber mit der Temperatur der Luft wächst, dass der Schall sich gleichmässig, in festen Körpern sich schneller als in flüssigen, in diesen schneller als in luftförmigen Körpern fortpflanzt.*

Mit dem Winde pflanzt sich der Schall rascher fort als gegen denselben; im ersten Falle wird seine Geschwindigkeit um jene des Windes vermehrt, im zweiten um diese vermindert. — In Hölzern pflanzt sich der Schall 10—18mal schneller als in der Luft fort; in dichteren Schallmitteln vernimmt man auch den Schall stärker. — Aus der Geschwindigkeit des Schalles und der Zeit, welche zwischen Blitz und Donner verfließt, lässt sich die Entfernung der Gewitterwolke berechnen.

144. Reflexion des Schalles. Nachhall. Echo. Trifft die vom Schallerreger ausgehende Schallwelle auf eine feste Wand, z. B. eine Felswand, so wird die Luftschichte, welche der Wand zunächst liegt, durch den Anprall verdichtet, worauf sie sich wieder allmählich ausdehnt; die Luftschichte wird also in eine schwingende Bewegung versetzt, welche sich wellenförmig in der Luft weiter verbreitet, und eine Schallwelle erzeugt, die in das alte Mittel gegen den Schallerreger zurückgeht.

Man nennt diese Erscheinung *Zurückwerfung* oder *Reflexion* des Schalles. Dieselbe tritt überhaupt ein, wenn eine Schallwelle aus einem Mittel an ein anderes von verschiedener Dichte gelangt und erfolgt genau nach den Gesetzen, welche wir für die Reflexion elastischer Kugeln (§. 107) kennen gelernt haben. Ist AB (Fig. 212) die Trennungsfläche zweier verschiedenen Schallmittel, z. B. Luft und Wasser, sa ein einfallender Schallstrahl, ab das Einfallslot, und as'

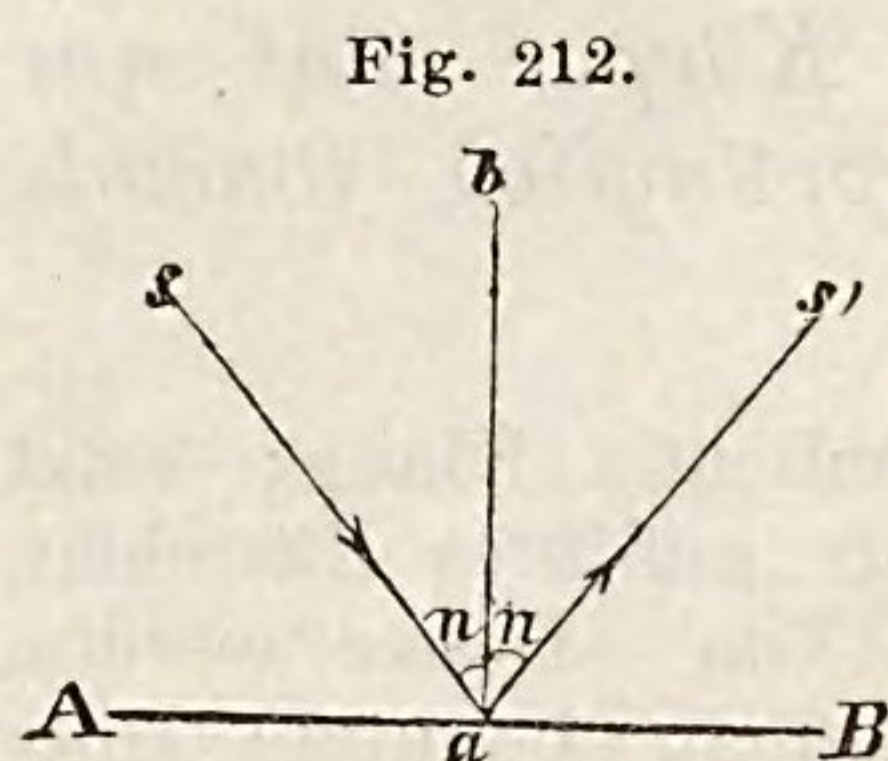


Fig. 212.

der reflectierte Schallstrahl, so ist $s\hat{a}b = b\hat{a}s'$, d. i. der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel; der einfallende, der reflectierte Schallstrahl und das Einfallslot liegen in derselben Ebene. Die reflectierte Schallwelle erzeugt im Ohr einen dem ursprünglichen gleichen Schall; dessen Erregungsort vom Ohr in der Richtung $s'a$ und zwar so weit hinter AB verlegt wird, als der Schallerreger vor AB sich befindet.

Auf der Reflexion des Schalles beruht der *Nachhall* und das *Echo*. Fällt der reflectierte Schall mit dem ursprünglichen theilweise zusammen, so dass uns der letztere nur in die Länge gezogen erscheint, so entsteht der Nachhall; kann man aber den reflectierten Schall von dem ursprünglichen deutlich unterscheiden, so hört man ein Echo.

Das Ohr kann in einer Secunde höchstens 9 Laute deutlich wahrnehmen; der Eindruck eines Lautes muss also wenigstens $\frac{1}{9}$ Sec. andauern, um deutlich vernommen zu werden. Das Ohr kann daher zwei verschiedene Laute nur dann scharf gesondert nach einander wahrnehmen, wenn der eine mindestens $\frac{1}{9}$ Sec. später als der andere ins Ohr gelangt. Nun legt aber der Schall in $\frac{1}{9}$ Sec. den Weg $\frac{1050}{9} = 116\frac{2}{3}'$ zurück. Ist nun in A (Fig. 213) ein Mensch, im Abstände

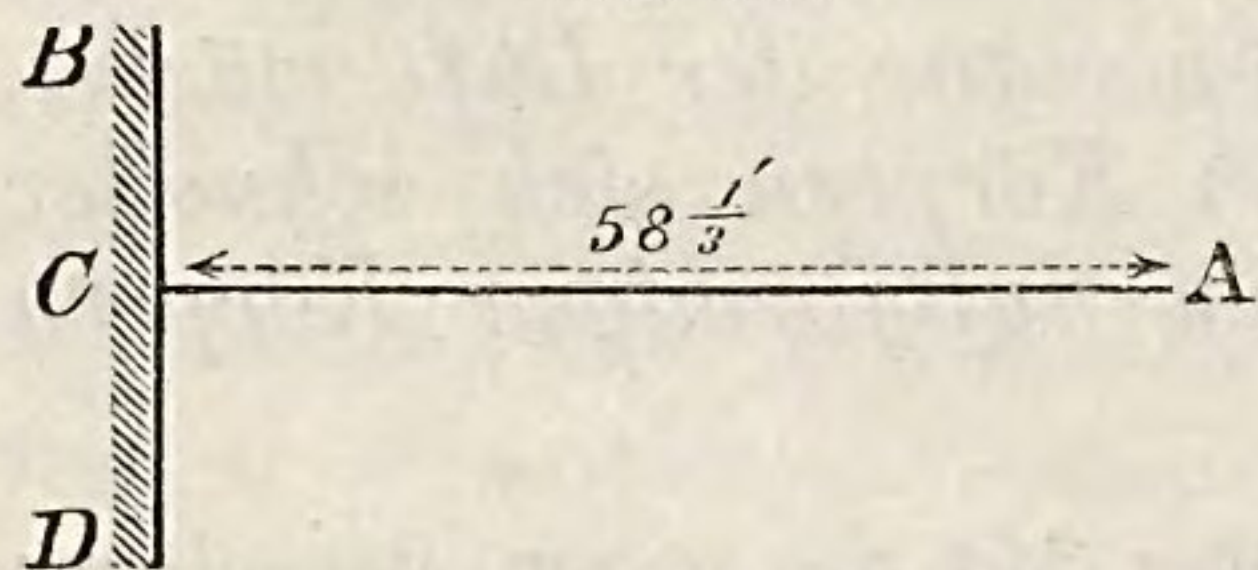


Fig. 213.

$AC = \frac{1050}{2 \times 9} = 58\frac{1}{3}'$ eine Wand BD , so braucht der Schall, um von A nach C und von hier zurück nach A zu gehen, gerade $\frac{1}{9}$ Sec. Ruft A eine Silbe, so hört er zunächst diese und um $\frac{1}{9}$ Sec. darauf kommt die reflectierte ans Ohr; A kann also die reflectierte Silbe von der ursprünglichen deutlich unterscheiden; er vernimmt ein einsilbiges Echo. Ist $AC = 2 \times 58\frac{1}{3}'$,

$3 \times 58\frac{1}{3}'$ u. s. w., so hört man 2, 3 u. s. w. reflectierte Silben ganz deutlich; das Echo heisst zwei-, drei-, u. s. w. silbig. Sind mehrere reflectierende Wände vorhanden, die in verschiedenen Abständen sich befinden, so dass die von jeder einzelnen Wand reflectierte Silbe nach einander wahrgenommen wird, so entsteht ein mehrfaches Echo. Bei Adersbach in Böhmen hört man ein siebensilbiges Echo dreimal. Der Nachhall entsteht mitunter in grösseren Sälen, wo er beim Sprechen störend wirkt. — Muss der Schall durch verschiedene Mittel gehen, so wird er geschwächt. So hört man durch Doppelthüren schlechter, besonders wenn inzwischen Stroh, Sägespäne u. s. w. vorhanden sind. In der Nacht hört man deutlicher und auf grössere Entfernungen hin, nicht bloß weil es geräuschloser ist, sondern weil die Luft gleichmässiger erwärmt ist als am Tage, und deshalb der Schall nicht durch so viele Reflexionen an den verschieden dichten Luftschichten geschwächt wird.

MN und $M'N'$ (Fig. 214) seien zwei parabolische Flächen, die vom Brennpunkte F ausgehenden Schallstrahlen werden von MN parallel zur gemein-

schaftlichen Axe AB gegen $M'N'$ hin und von hier zum Brennpunkt F' zurückgeworfen. Ein in F' befindliches Ohr hört daher das schwächste Ge-

Fig. 214.

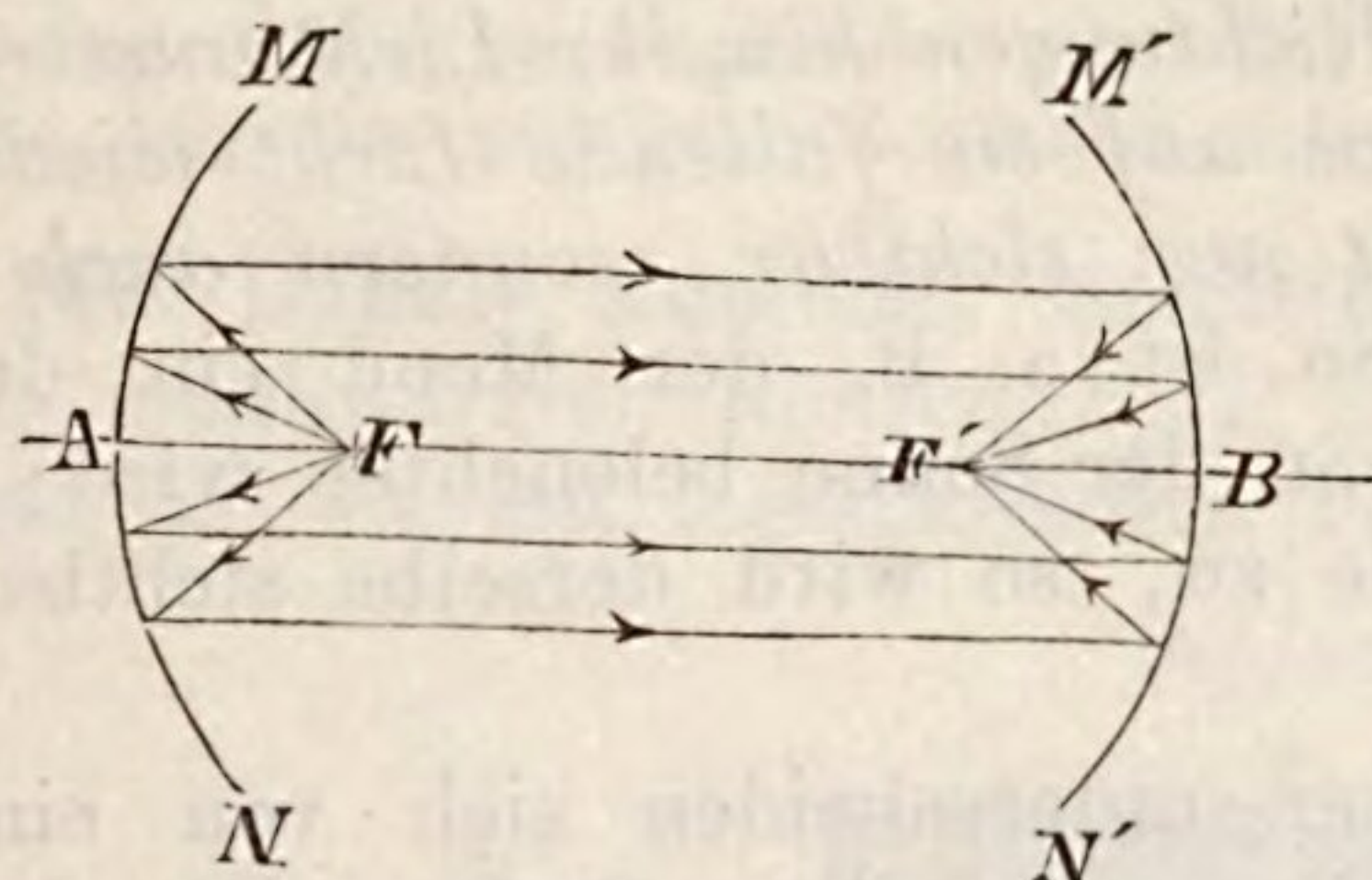
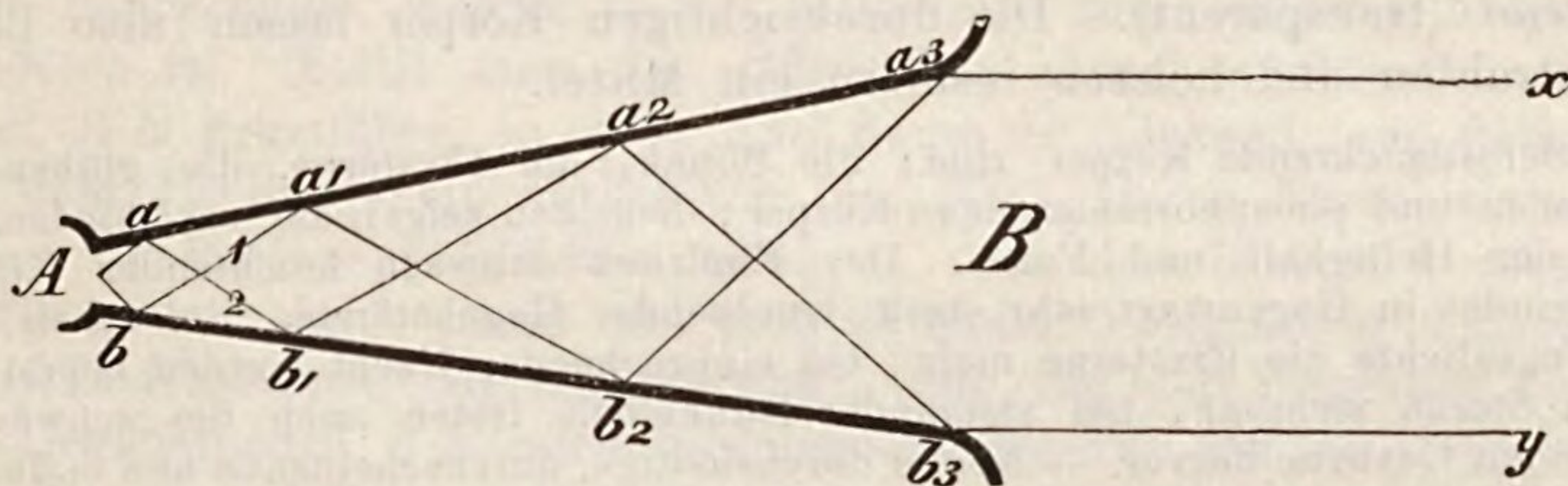


Fig. 216.



räusch welches in F erregt wird. Ähnlich wirken die elliptischen Sprachgewölbe. — Um einen Schall noch auf grössere Entfernungen hin hörbar zu machen,

Fig. 215.



wendet man das Sprachrohr an, welches aus einem kegelförmigen Rohr (Fig. 215) besteht. Der in A erregte Schall wird an den Wänden bei a, b nach 1, 2 reflectiert; und nach mehreren Reflectionen bei a_1, b_1, a_2, b_2 u. s. w. treten die Schallstrahlen in nahezu parallelen Richtungen $a_3 x, b_3 y$ bei B heraus. — Das Hörrohr (Fig. 216) hat eine ähnliche Einrichtung; a wird ins Ohr gesteckt. — Das Sprachrohr ist 1670 von Morland in England erfunden worden.

XII. VOM LICHT.

145. Allgemeines. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Dasjenige, wodurch die Sichtbarkeit der Körper vermittelt wird, heisst *Licht*. Nur dort, wo Licht vorhanden ist, können wir die Gegenstände mit dem Auge wahrnehmen; denn in der Dunkelheit gibt uns nur der Tastsinn, theilweise wohl auch der Gehörssinn Aufschluss über die Gegenwart von Körpern. In Beziehung auf ihre Wahrnehmbarkeit durch das Auge zerfallen die Körper in *selbstleuchtende*, welche schon durch sich selbst, ohne Vermittelung eines andern Körpers sichtbar sind, und in *dunkle Körper*, welche eines selbstleuchtenden Körpers bedürfen, um wahrgenommen zu werden.

Da ein leuchtender Körper, z. B. eine Flamme, von allen Seiten sichtbar ist und nicht mehr gesehen wird, wenn wir zwischen ihn und das Auge die Hand oder einen Schirm halten, so folgt, dass *die leuchtenden Körper nach allen Richtungen hin ihr Licht ausstrahlen. Die dunkeln Körper strahlen das auf sie fallende Licht wieder zurück, und werden dadurch nicht nur sichtbar, sondern auch fähig andere Körper zu beleuchten.* So ist z. B. der Mond ein dunkler Körper, welcher auf einer Seite von der Sonne beleuchtet wird; kehrt er die beleuchtete Seite der Erde zu, so wird derselbe sichtbar und erhellet die Nächte.

Die selbstleuchtenden Körper unterscheiden sich von einander durch den Grad ihrer Helligkeit oder durch ihre Farbe. *Die dunkeln Körper sind durchsichtig oder undurchsichtig*, je nachdem man durch sie die Gegenstände deutlich wahrnehmen kann oder nicht. Ein Körper mit einem geringen Grade von Durchsichtigkeit heisst *durchscheinend* (transparent). Die durchsichtigen Körper lassen also Licht durchstrahlen und heissen insofern ein Mittel.

Selbstleuchtende Körper sind: die Sonne, die Fixsterne, die glühenden, brennenden und phosphorescierenden Körper; dieselben zeigen die verschiedensten Grade der Helligkeit und Farbe. Der Eindruck schwach leuchtender Körper verschwindet in Gegenwart sehr stark leuchtender Gegenstände. So sehen wir beim Tageslichte die Fixsterne nicht; bei einbrechender Nacht werden zuerst die hellsten Sterne sichtbar, bei steigender Dunkelheit treten auch die schwächer leuchtenden Gestirne hervor. — Nenne durchsichtige, durchscheinende und undurchsichtige Körper. In dünnen Schichten lässt wohl jeder Körper etwas Licht durch.

Versuch a). Stellt man vor einer Flamme drei mit einer kleinen Öffnung versehene Pappscheiben hinter einander auf, so sieht man durch die Öffnung der ersten Scheibe blickend die Flamme nur dann, wenn die Öffnungen in einer Geraden liegen. Sieh durch ein gerades und ein gekrümmtes Rohr gegen eine Flamme.

Versuch b). Lässt man die Sonne durch eine kleine Öffnung eines Fensterladens in das verdunkelte Zimmer scheinen, so sieht man die Staubtheilchen längs einer durch die Öffnung gehenden Geraden beleuchtet. Auf einer der Öffnung gegenüberstehenden Wand sieht man ein weisses Sonnenbildchen, welches sogleich verschwindet, wenn zwischen Öffnung und Wand ein undurchsichtiger Schirm gehalten wird.

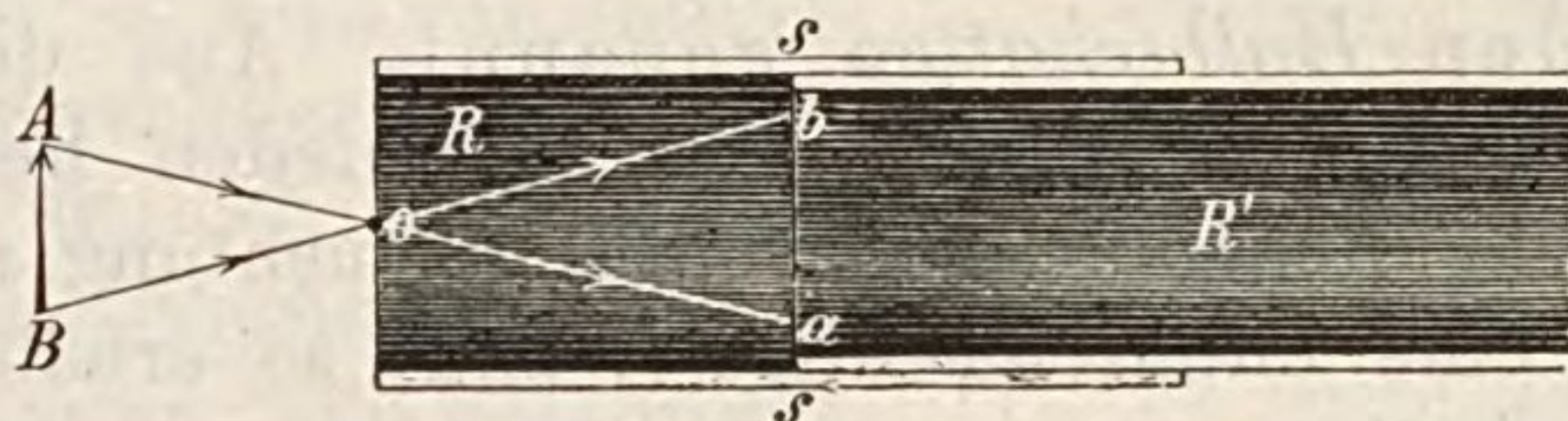
Das Licht strahlt von den Punkten eines leuchtenden Körpers in geraden Linien aus, und pflanzt sich in einem durchaus gleichartigen Mittel (bei den obigen Versuchen in der Luft) geradlinig fort. Man nennt jede Gerade, längs welcher das Licht sich fortpflanzt, einen *Lichtstrahl*. Trifft ein von einem Gegenstande ausgehender Lichtstrahl das Auge, so nimmt dieses den Gegenstand wahr und versetzt denselben immer an das Ende einer Geraden, in welcher das ins Auge eintretende Licht sich fortpflanzt.

Zur Erklärung der Lichterscheinungen nimmt man einen äusserst feinen Stoff, den Äther, an, welcher im ganzen Weltraume sowie auch im Innern der Körper verbreitet und vollkommen elastisch ist. Die Theilchen der selbstleuchtenden Körper befinden sich in schwingender Bewegung, welche dem umgebenden Äther mitgetheilt und von diesem nach allen Richtungen fortgepflanzt wird. Gleichwie der schallende Körper in der Luft und anderen Schallmitteln Schall-

wellen erzeugt, so ruft der leuchtende Körper im Äther Lichtwellen hervor, wobei die Äthertheilchen senkrecht auf die Fortpflanzungsrichtung der Welle schwingen. Jeder Lichtstrahl gibt die Fortpflanzungsrichtung der Lichtwelle an. Verbreitet sich die oscillierende Bewegung bis zu dem im Auge befindlichen Äther, so empfinden wir den Eindruck des Lichtes, vorausgesetzt, dass das Auge im gesunden Zustande sich befindet.

146. Dunkle Kammer. Schatten. Versuch a). Von zwei inwendig geschwärzten Röhren R, R' (Fig. 217) sei R' in R verschiebbar und bei $s s$ mit transparentem Papier versehen, während R mit

Fig. 217.



einer Pappscheibe, welche in der Mitte eine feine Öffnung o hat, verschlossen ist. Stellt man der Öffnung o einen leuchtenden Gegenstand AB gegenüber, so sieht man, durch R' blickend, von demselben auf dem Papier ss ein verkehrtes Bild ab . Durch Verschiebung der Röhre R' lässt es sich dahin bringen, dass das Bild ab möglichst deutlich erscheint. Diese und jede ähnliche Vorrichtung heisst man *dunkle Kammer* (*camera obscura*). Die von den einzelnen Punkten des Gegenstandes AB nach o gezogenen Geraden stellen Lichtstrahlen vor, die von AB kommen; dieselben schneiden sich alle in o und es bilden sich daher die oberen Punkte von AB auf ss unten, die rechts liegenden aber links und umgekehrt ab.

Ist in einem Fensterladen eines dunkeln Zimmers eine kleine Öffnung, so sieht man die vor der Öffnung befindlichen Gegenstände verkehrt auf einem entsprechend aufgestellten Schirm. — Sind in einem Schirme SS' (Fig. 218) zwei feine Öffnungen o, o' angebracht, so fallen die entstehenden Bilder $ab, a'b'$ theilweise übereinander, so dass sich verschiedenartige Theile derselben decken und die Bilder sich verundeutlichen. Da man sich eine grosse Öffnung aus sehr vielen kleinen bestehend denken kann, so wird ersichtlich, wesshalb bei Anwendung einer nur etwas grösseren Öffnung das Bild undeutlich

Fig. 218.

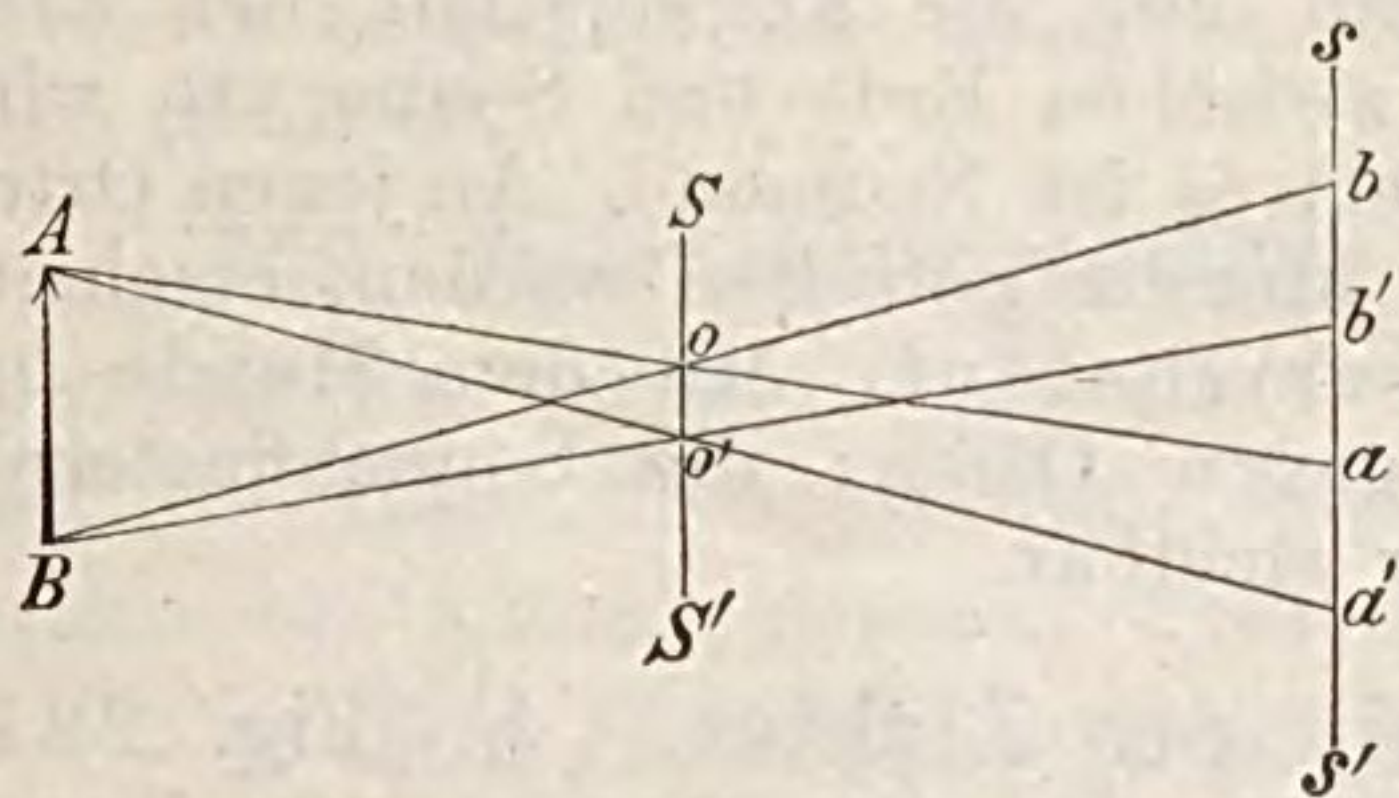
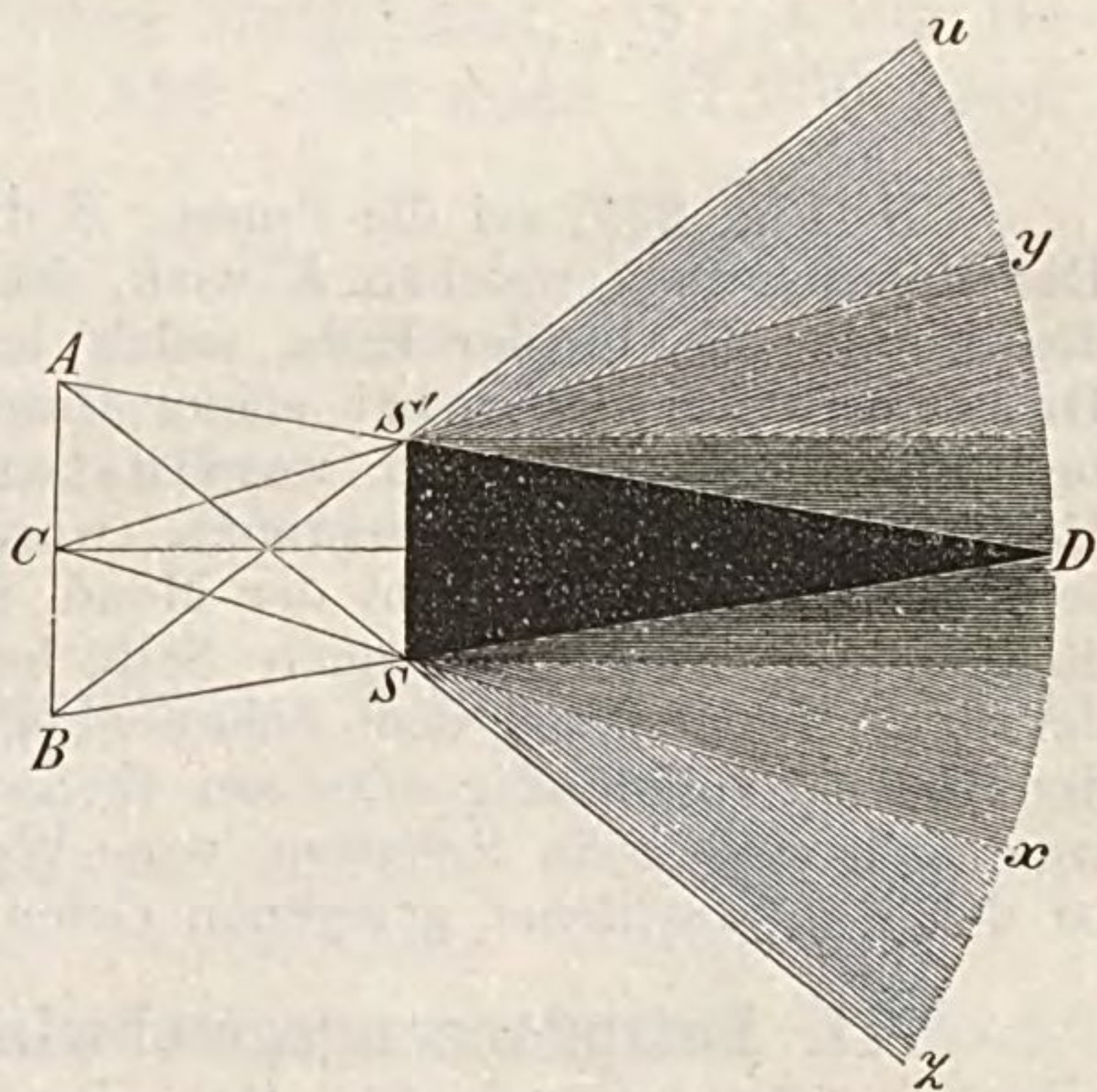


Fig. 219.



ausfällt, und wesshalb bei grossen Öffnungen z. B. einem Fenster gar kein Bild entsteht.

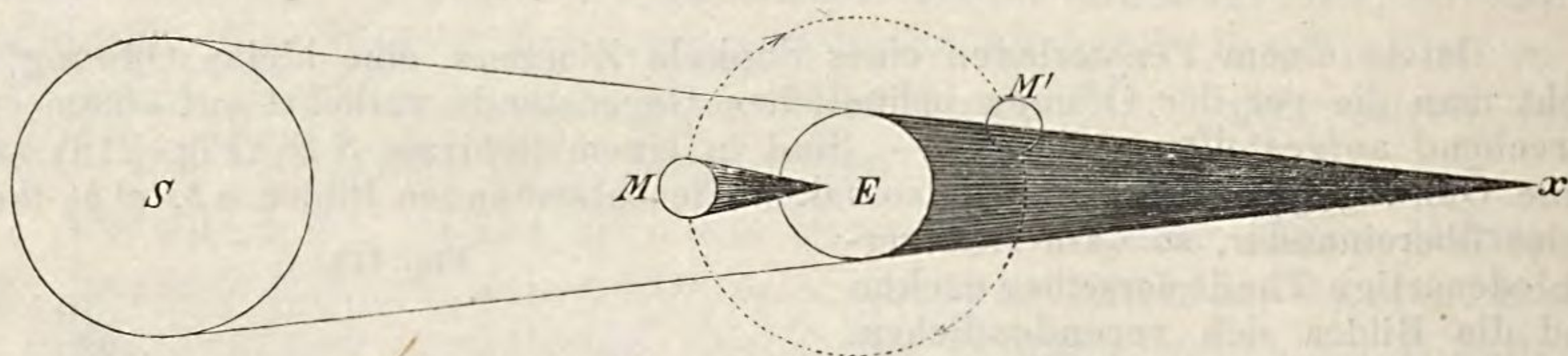
SS' (Fig. 219) sei ein undurchsichtiger, AB ein leuchtender Körper, z. B. eine Flamme. Auf der dem AB zugewandten Seite

wird SS' hell erleuchtet sein. Zieht man von den leuchtenden Punkten A, C, B zu den Punkten S, S' Gerade, so stellen diese die äussersten Lichtstrahlen vor, welche von jenen Punkten noch auf SS' fallen. Der hinter SS' liegende Raum $ySS'x$ wird keineswegs so hell erleuchtet sein, wie der über Sy oder unter Sx befindliche Raum; man sagt der Körper SS' werfe einen Schatten. Der Raum $SS'D$ welcher von AB gar kein Licht erhält, also vollständig dunkel ist, heisst *Kernschatten*; jene Theile des Schattens, wie z. B. DSz , $DS'u$ u. s. w., welche zwar nicht von allen Punkten aber doch mindestens von einem Punkte der Lichtquelle AB Licht erhalten, werden *Halbschatten* genannt. Aus der Figur ist zu ersehen, dass vom Kernschatten durch verschieden helle Halbschatten ein ganz allmäliger Übergang zur vollen Beleuchtung stattfindet. Stellt man hinter SS' eine undurchsichtige Wand, so erhält man den sogenannten *Schlagschatten*.

Die Entstehung des Bildes in der dunklen Kammer und des Schattens ist Folge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes.

Gestalt, Grösse und Lage des Schattens hängen von der Gestalt, Grösse und gegenseitigen Lage des leuchtenden und beleuchteten Körpers ab; bewegt man den einen oder den andern, so bewegt sich auch der Schatten (Schattenspiel). — Morgens und abends werfen die von der Sonne beleuchteten Gegenstände lange Schatten, diese sind um so kürzer, je höher die Sonne steht; am kürzesten sind sie an Sommermittagen. Auch bewegt sich der Schatten in Folge des Vorrückens der Sonne; hierauf beruht die Einrichtung der Sonnenuhren. Erläutere das Gesagte durch Zeichnung.

Fig. 220.

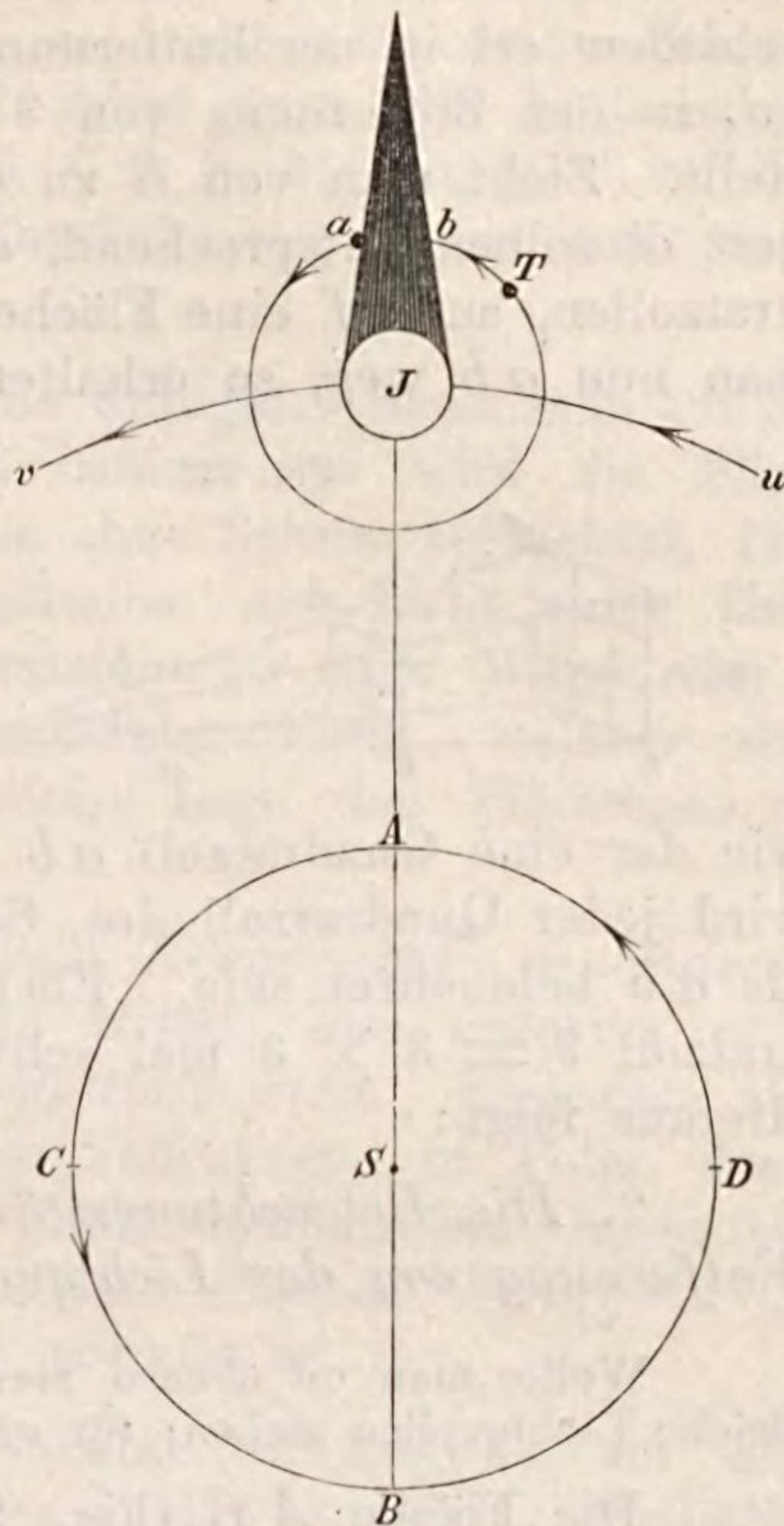


S (Fig. 220) sei die Sonne, E die Erde, welche von jener beleuchtet wird. Der Kernschatten, welchen E wirft, ist kegelförmig und länger als der Abstand des Mondes M von der Erde, welcher letzterer etwa 51.000 geogr. Meilen beträgt. Der Mond kann also bei seiner Bewegung um die Erde in den Erdschatten bei M' eintreten und so verfinstert werden. Der Schlagschatten auf dem Monde ist kreisförmig begrenzt, woraus man auf die Kugelgestalt der Erde schliessen kann. — Steht der Mond in M zwischen Erde und Sonne, so wird die von der Erde abgewendete Seite beleuchtet; es ist Neumond. An jenen Orten der Erde, welche von dem Schattenkegel des Mondes getroffen werden, erscheint die Sonne vollständig oder nur theilweise verfinstert. Mit dem Monde bewegt sich auch sein Schatten von Westen gegen Osten; die Sonnenfinsternis ist daher in westlicher gelegenen Orten früher sichtbar.

147. Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. S (Fig. 221) sei der Mittelpunkt der Sonne, $ACBD$ sei die Erdbahn, J der Planet Jupiter, uv ein Stück seiner Bahn, T einer von den vier Monden des letzteren. Weil der Jupiter hinter sich einen Schatten wirft, wird jeder von den 3 dem Jupiter zunächst liegenden Monden bei jedem Umlaufe verfinstert. Man kann nun den Augenblick, wo

z. B. der dem Jupiter nächste Trabant T bei b in den Kernschatten eintritt, oder bei a aus demselben hervortritt beobachten; die Zeit zwischen einem Austritt und dem unmittelbar darauf folgenden ist offenbar der Umlaufszeit des Trabanten T gleich. Man hat gefunden, dass T in 24 Stunden, 27 Min. und 33 Sec. einen Umlauf vollendet. Hat man nun für den Fall, wo die Erde in A sich befand, den Anfang einer Verfinsterung beobachtet, so wird von diesem Augenblicke an gerechnet, nach Verlauf von je 42 St., 27 M., 33 Sec. immer wieder eine Verfinsterung des Trabanten T eintreten. Die Erfahrung hat jedoch gelehrt, dass die Verfinsterung um so später beginnt, je weiter die Erde sich von A entfernt und dass diese Verspätung des Eintritts der Verfinsterung nahezu 16 M. 26 Sec. beträgt, wenn die Erde in B sich befindet. Nun ist aber der Weg vom Trabanten T bis B um $AB = 41,316.000$ geogr. Meilen, d. i. um den Durchmesser der Erdbahn grösser als der Weg von T bis nach A . Ein von T ausgehender Lichtstrahl wird daher in B um so viele Secunden später denn in A anlangen, als das Licht Secunden braucht, um den Weg AB zurückzulegen. Da nun die Verspätung des Eintritts der Verfinsterung für B 16 M. 26 Sec. $= 986$ Sec. beträgt, und da das Licht sich gleichförmig fortpflanzt, so ist die *Geschwindigkeit des Lichtes* $41,316.000 : 986$ oder *nahe 41.900 geogr. Meilen*.

Fig. 221.



Wegen dieser grossen Geschwindigkeit des Lichtes sieht man beim Abfeuern einer Kanone den Funken um sehr vieles früher ehe man den Knall hört, so dass man sich noch rechtzeitig niederwerfen kann um vor der Kugel sicher zu sein. — Die Geschwindigkeit des Lichtes hat auf die oben angegebene Weise zuerst der dänische Astronom Olaf Römer zwischen 1670 und 1676 ermittelt.

148. Beleuchtungsstärke. Photometer. Eine Lichtquelle wird offenbar um so mehr Licht verbreiten, je mehr leuchtende Punkte sie hat. — Eine Stearinkerze, eine Unschlittkerze, eine Öllampe u. s. w. haben bei gleich grosser Flamme sehr verschiedene Leuchtkraft.

1. Die Beleuchtungsstärke wächst mit der Oberfläche der Lichtquelle, und hängt von der Leuchtkraft ab, welche der Lichtquelle eigenthümlich ist.

Entfernt man ein aufgeschlagenes Buch von dem Lichte mehr und mehr, so wird die Schrift immer undeutlicher und endlich ganz

unleserlich. Die Stärke der Beleuchtung nimmt also ab, wenn die Entfernung von der Lichtquelle wächst. Um das Gesetz hiefür kennen zu lernen, sei S (Fig. 222) ein leuchtender Punkt, ab ein Quadrat-zoll eines Schirmes, welcher z. B. eine Klafter von S entfernt ist; nebstdem sei in der Entfernung von zwei Klaftern, ein zweiter Schirm cd , in der Entfernung von 3 Klaftern, ein dritter Schirm ef aufgestellt. Zieht man von S zu den Ecken von ab Gerade, und verlängert dieselben entsprechend, so wird auf cd eine Fläche von 4 Quadrat-zollen, auf ef eine Fläche von 9 Quadrat-zollen abgegrenzt. Nimmt man nun ab weg, so erhalten die 4 □“ auf cd dieselbe Lichtmenge

Fig. 222.

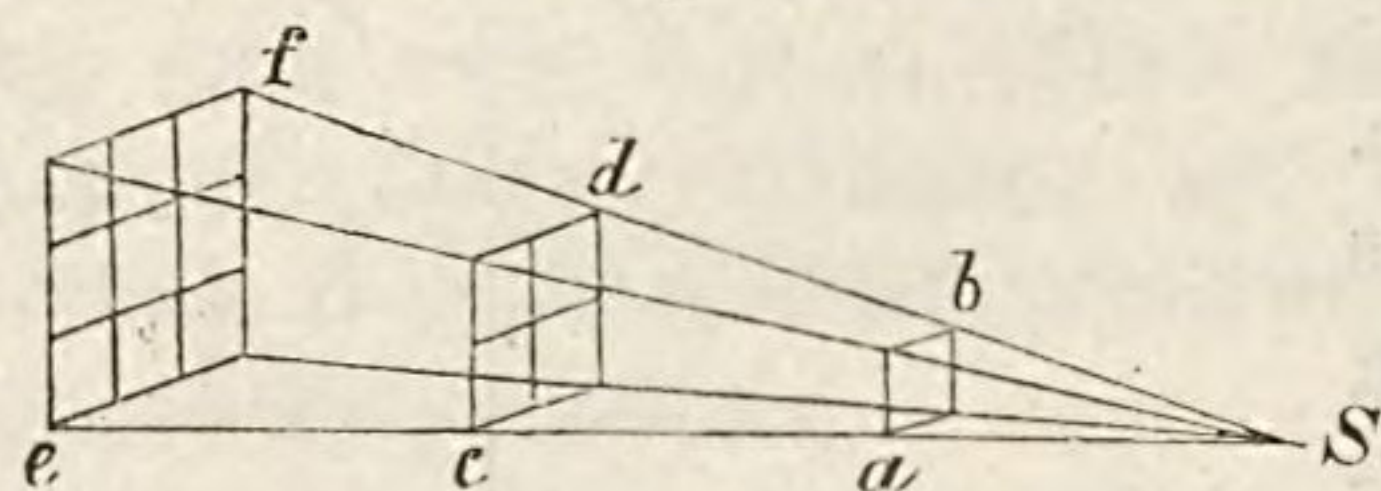


Fig. 223.



wie der eine Quadrat-zoll ab als er sich im Abstände 1 befand; daher wird jeder Quadrat-zoll des Schirmes cd $4 = 2 \times 2$ mal schwächer als ab beleuchtet sein. Ebenso ist ersichtlich, dass auf ef ein Quadrat-zoll $9 = 3 \times 3$ mal schwächer beleuchtet wird als ab u. s. w. Hieraus folgt:

2. Die Beleuchtungsstärke nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle wächst.

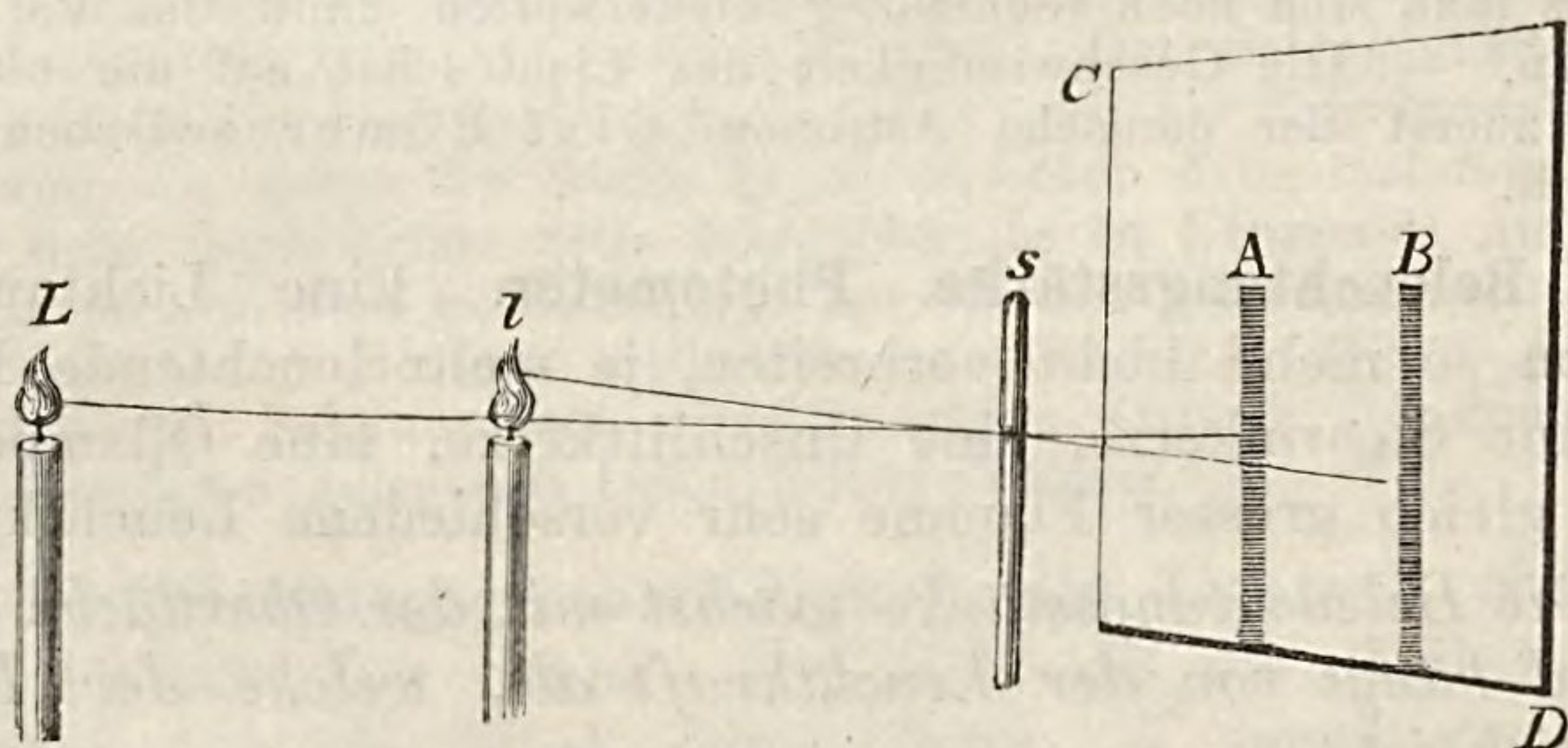
Wollte man cd ebenso stark als ab beleuchten, so müssten in S vier gleiche Lichtquellen stehen; für ef wären 9 Lichtquellen erforderlich.

Die Fläche AB (Fig. 223) werde von senkrecht auffallenden Strahlen getroffen. In der geneigten Lage $A'B$, $A''B$ ist die Menge der auffallenden Lichtstrahlen kleiner; die Beleuchtung muss also schwächer als vorhin sein.

3. Die Stärke der Beleuchtung ist um so geringer, je schräger die Lichtstrahlen auffallen.

Um die Lichtstärke zweier Lichtquellen, z. B. einer Stearin- und einer Unschlittkerze mit einander zu vergleichen,

Fig. 224.



wendet man die *Photometer* (Lichtmesser) an. Das einfachste Photometer ist jenes von Rumford (Fig. 224), welches aus einem

vertical gestellten weissen Schirme CD besteht, vor welchem ein Stab s angebracht ist. Stellt man vor s die zu vergleichenden Lichtquellen L, l , so erzeugt L auf CD den Schatten A , und l den Schatten B ; jener wird von l , dieser von L beleuchtet. Nun entfernt oder nähert man die eine Lichtquelle so lange, bis beide Schatten gleich stark beleuchtet erscheinen und misst dann die Entfernungen der Lichtquellen vom Schirme. Es sei L z. B. $3'$, l aber $5'$ von CD entfernt; nach 2) verhält sich die Lichtstärke von L zu jener von l wie $3^2 : 5^2 = 9 : 25$.

149. Reflexion des Lichtes. Ebene Spiegel. Setzt man auf eine Lampe einen undurchsichtigen weissen Schirm, so wird die Fläche auf welcher die Lampe steht, besser als ohne Schirm beleuchtet. Lässt man auf ein blankes poliertes Metallplättchen das Licht einer Kerze oder auch Sonnenstrahlen fallen, so entsteht an einer Wand oder an der Decke des Zimmers ein hell beleuchteter Fleck, welcher seine Lage ändert, sobald man die gegenseitige Lage des Plättchens und des Lichtes ändert.

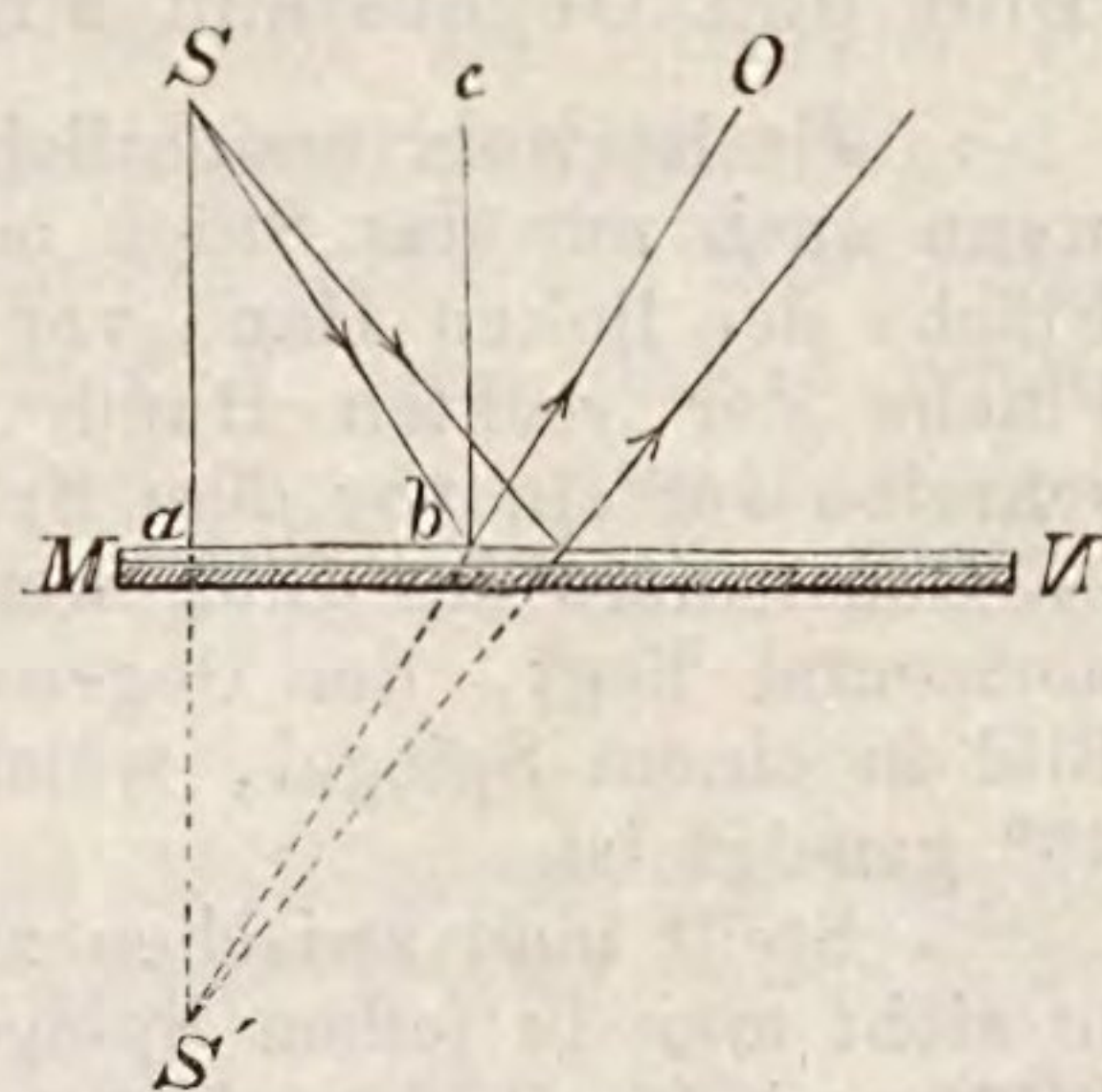
Fällt also Licht auf einen dunkeln Körper auf, so ändert es seine Richtung, indem es in das alte Mittel, aus welchem es gekommen ist, zurückgestrahlt oder reflectiert wird. Besonders stark wird das Licht von glatten Oberflächen reflectiert, in Folge dessen man in denselben die Bilder der vor ihnen befindlichen Gegenstände wahrnimmt; man nennt bekanntlich solche Flächen *Spiegel*. Die Spiegel sind entweder eben oder gekrümmt.

Versuch. Man setze einen Zollstab senkrecht auf einen ebenen Spiegel auf; das Auge sieht das Bild von jedem Theilstriche des Zollstabes so weit hinter dem Spiegel, als der Theilstrich selbst vor dem Spiegel liegt.

Das Bild eines leuchtenden Punktes liegt genau so weit hinter dem ebenen Spiegel als der leuchtende Punkt vor dem Spiegel sich befindet.

Sei nun MN (Fig. 225) ein ebener Spiegel, S ein leuchtender Punkt. Zieht man $SS' \perp MN$ und macht $Sa = aS'$ so ist S' das Bild von S . Weil das Auge die Gegenstände immer an das Ende einer Geraden versetzt, längs welcher die von den Gegenständen ausgehenden Strahlen in das Auge eintreten, und weil das in O befindliche Auge das Bild von S in S' sieht, so müssen die von S ausgehenden Strahlen vom Spiegel so zurückgeworfen werden, als kämen sie von S' her. Ziehen wir daher $S'O$, so stellt bo einen reflectierten Strahl vor, welchem der von S kommende Strahl Sb entspricht. Nun ist $\triangle Sab \cong \triangle S'ab$, folglich $\angle Sba = \angle abS'$ und weil $\angle abS' = \angle Nbo$ ist, so hat man auch $\angle Sba = \angle Nbo$. Zieht man $cb \perp$

Fig. 225.



MN , so folgt, dass auch $\angle Sbc = \angle Obc$ ist. Die Gerade bc heisst das Einfallslot, der Winkel Sbc der Einfallswinkel, der Winkel Obc der Reflexionswinkel. Für die Reflexion des Lichtes besteht demnach das Gesetz:

Der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel. Nebstdem gilt noch das Gesetz:

Der einfallende und reflectierte Strahl liegen mit dem Einfallslothe in derselben Ebene.

Aus diesen Gesetzen folgt umgekehrt, dass die auf einen Planspiegel auffallenden Strahlen so reflectiert werden, als kämen sie alle von einem Punkte, welcher so weit hinter dem Spiegel liegt, als die Lichtquelle sich vor dem Spiegel befindet.

Befindet sich vor dem ebenen Spiegel MN (Fig. 226) ein Gegenstand AB , so erhält man sein Bild ab , wenn man von den Grenzpunkten A, B Senkrechte auf den Spiegel zieht und diese so weit

Fig. 226.

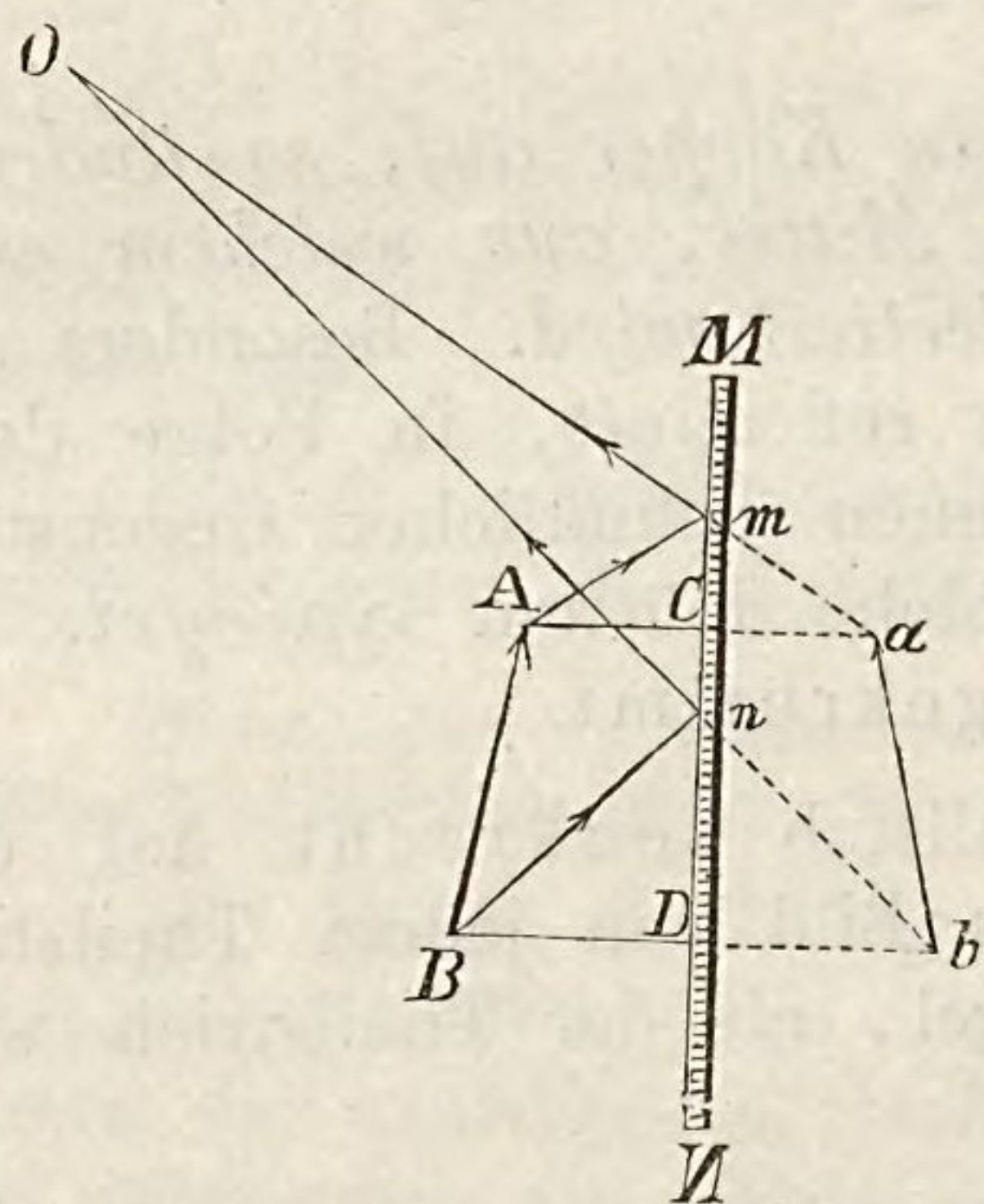
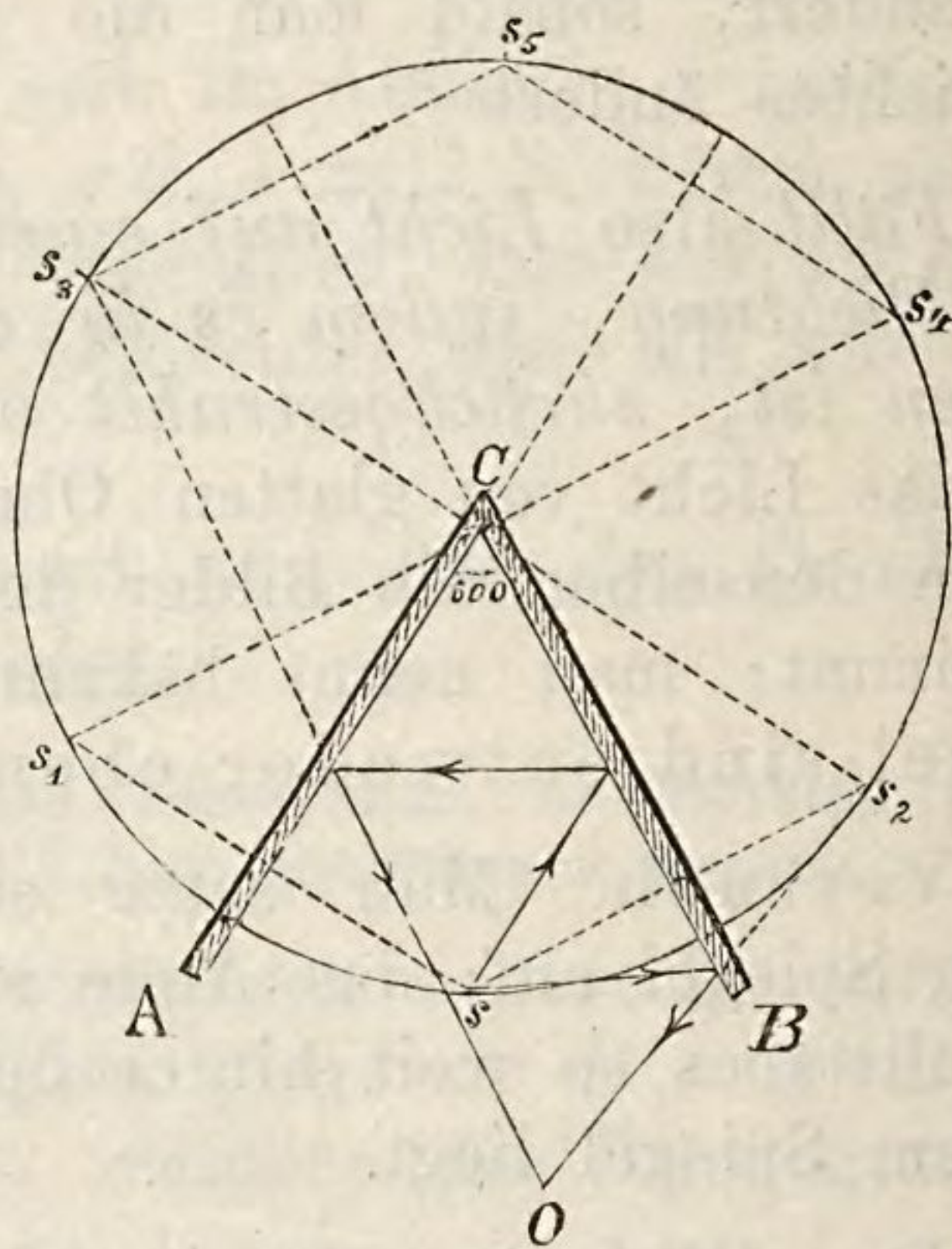


Fig. 227.



verlängert, dass $Ca = CA$ und $bD = DB$ wird. a, b sind die Bilder beziehungsweise von A und B , und ab das Bild von AB , welches dem in O befindlichen Auge durch den Strahlenkegel Omn sichtbar wird. Bild und Gegenstand haben dieselbe Grösse, Gestalt und dieselbe Neigung gegen den Spiegel; nur ist in Bezug auf den Gegenstand im Bilde rechts mit links vertauscht, d. h. Bild und Gegenstand sind unter einander symmetrisch.

Es ist wohl ersichtlich, dass das Auge O das Bild ab noch sehen würde, wenn auch nur das Stück mn des Spiegels vorhanden wäre. — Halte die innere Fläche der linken Hand vor einen Spiegel und vergleiche ihr Bild mit der inneren Fläche der rechten Hand. Lege ein aufgeschlagenes Buch vor den Spiegel; schreibe auf ein vor dem Spiegel liegendes Blatt und betrachte die Spiegelbilder. — Construiere das Bild, wenn die spiegelnde Fläche wie z. B. eine Wasserfläche, horizontal liegt, der Gegenstand aber vertical steht. — Welche Lage hat das Bild in einem Spiegel, welcher gegen den horizontal liegenden Gegenstand um 45° geneigt ist.

Stellt man zwischen zwei zu einander parallele Spiegel eine Kerzenflamme, so sieht man in jedem Spiegel sehr viele in gerader Linie hintereinander stehende Bilder; jedes Bild, welches in dem einen Spiegel entsteht, wirkt in Beziehung auf den andern Spiegel wieder als Gegenstand. — Zwei Planspiegel AC, BC (Fig. 227) lassen sich um eine gemeinsame Axe C drehen. Stellt man die Spiegel

so, dass sie z. B. einen Winkel von 60° bilden, und bringt in die Mitte des Bogens AB einen Gegenstand s , so sieht das in O befindliche Auge in der Peripherie eines um C beschriebenen Kreises fünf Bilder von s , welche mit s die Ecken eines regelmässigen Sechsecks bilden. Die Figur zeigt die Construction der Bilder. s wird in AC als s_1 , und in BC als s_2 abgebildet; s_2 ist wieder für AC Gegenstand und erzeugt in diesem das Bild s_3 , so wie s_1 in BC das Bild s_4 liefert u. s. w. Ist $\angle BCA = 36^\circ = \frac{360^\circ}{10}$, so sieht man $10 - 1 = 9$ Bilder;

ist $\angle BCA = 40^\circ = \frac{360^\circ}{9}$, so entstehen $9 - 1 = 8$ Bilder u. s. w. Auf der Wirkung der Winkelspiegel beruht das bekannte Kaleidoskop (Schöngucker).

150. Sphärische Spiegel. Ein Stück, wie MN (Fig. 128), einer Kugelschale, welches auf einer Seite spiegelt, heisst ein *sphärischer Spiegel* und zwar ein sphärischer Concav- oder Convexspiegel, je nachdem die hohle oder die erhabene Seite spiegelt.

MN (Fig. 228) sei ein Concavspiegel, die Gerade, welche durch den Mittelpunkt C der Kugel und durch die Mitte A des Spiegels geht, heisst die *Axe des Spiegels*; der Winkel, welchen die zum Spiegelrande gezogenen Halbmesser CM und CN bilden wird die *Öffnung des Spiegels* genannt. Da der Halbmesser auf

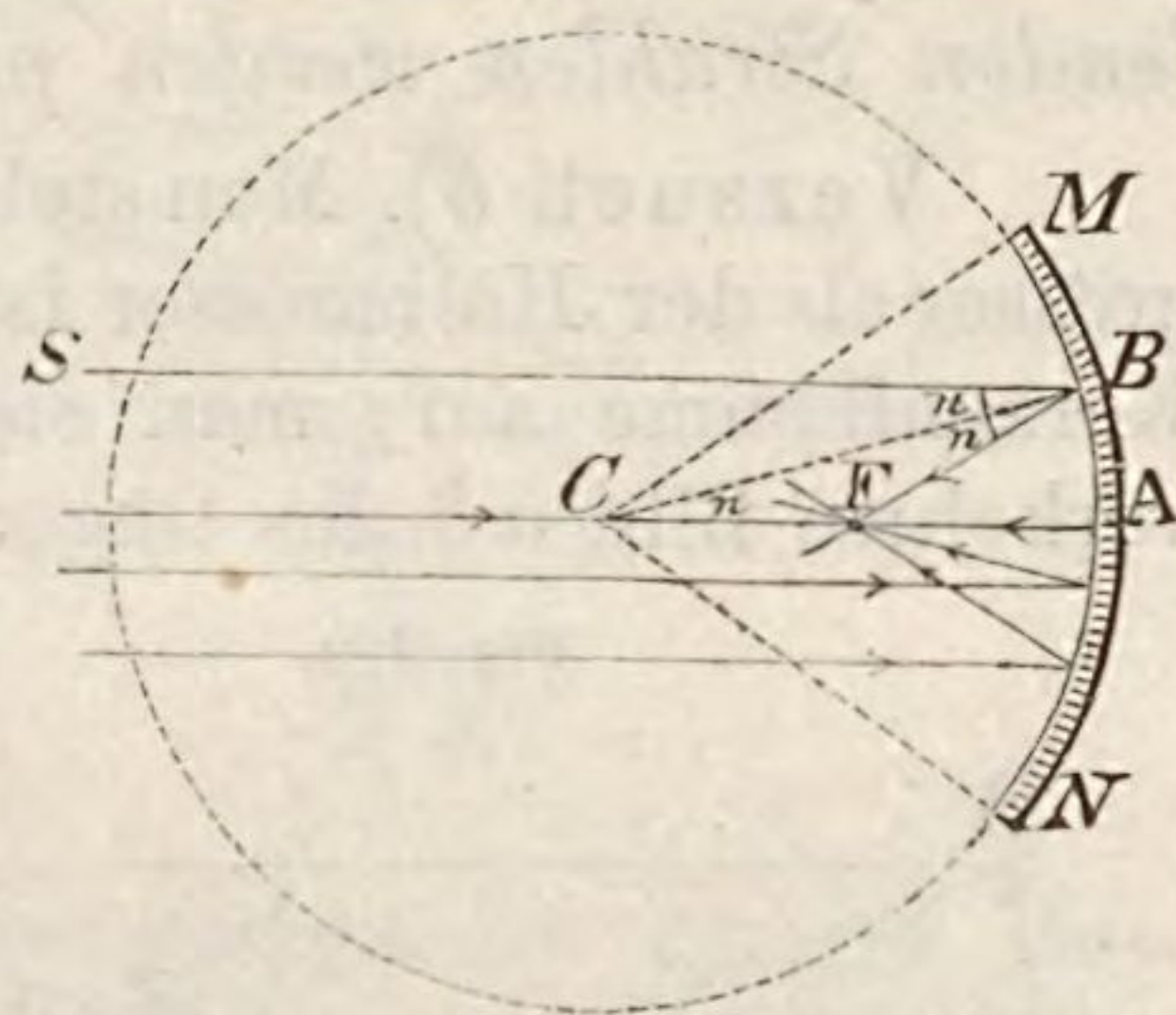


Fig. 228.

der Kugelfläche senkrecht steht, so stellt jeder zu einem Punkte des sphärischen Spiegels gezogene Halbmesser, wie CA , CB , das zu diesem Punkte gehörige Einfallslot vor. Fällt daher ein Strahl so auf den Spiegel, dass er durch den Krümmungsmittelpunkt C geht, so wird derselbe in sich selbst zurückgeworfen. Heisst man derlei Strahlen *Hauptstrahlen*, so hat man für sphärische Hohlspiegel folgendes Gesetz:

1. Hauptstrahlen werden in sich selbst zurückgeworfen.

Es sei SB (Fig. 228) ein nahe bei A und parallel zur Axe auffallender Lichtstrahl. Macht man $\angle CBF$ dem Einfallswinkel n gleich, so stellt BF den zu SB gehörigen reflectierten Strahl vor, welcher den mit der Spiegelaxe zusammenfallenden Strahl im Punkte F schneidet. Weil $\angle ACB = \angle CBS$ als Wechselwinkel zwischen Parallelen, so ist auch $\angle ACB = \angle CBF$ und daher $BF = FC$. Weil aber der Bogen AB sehr klein ist, so kann $AF = BF$ und daher auch $AF = FC$ gesetzt werden. Gleichwie AB werden auch andere nahe bei A und parallel zur Spiegelachse auffallende Strahlen nach F hin reflectiert.

Versuch *a*). Man halte den Hohlspiegel MN gegen die Sonne, so dass die auffallenden Strahlen parallel zur Axe CA sind; auf einen vor dem Spiegel befindlichen Papier entsteht ein Sonnenbildchen, welches am kleinsten und schärfsten erscheint, wenn man das Papier in der Mitte F zwischen A und C hält; das Papier und andere brenn-

bare Körper, welche in F sich befinden, werden entzündet; man nennt deshalb den Punkt F den Brennpunkt oder Focus, und seinen Abstand FA vom Spiegel die Brennweite des Spiegels. Aus dem Gesagten folgt:

2. Strahlen, welche auf einen sphärischen Hohlspiegel nahe bei der Mitte und parallel zur Axe desselben auffallen, werden zum Brennpunkte reflectiert.

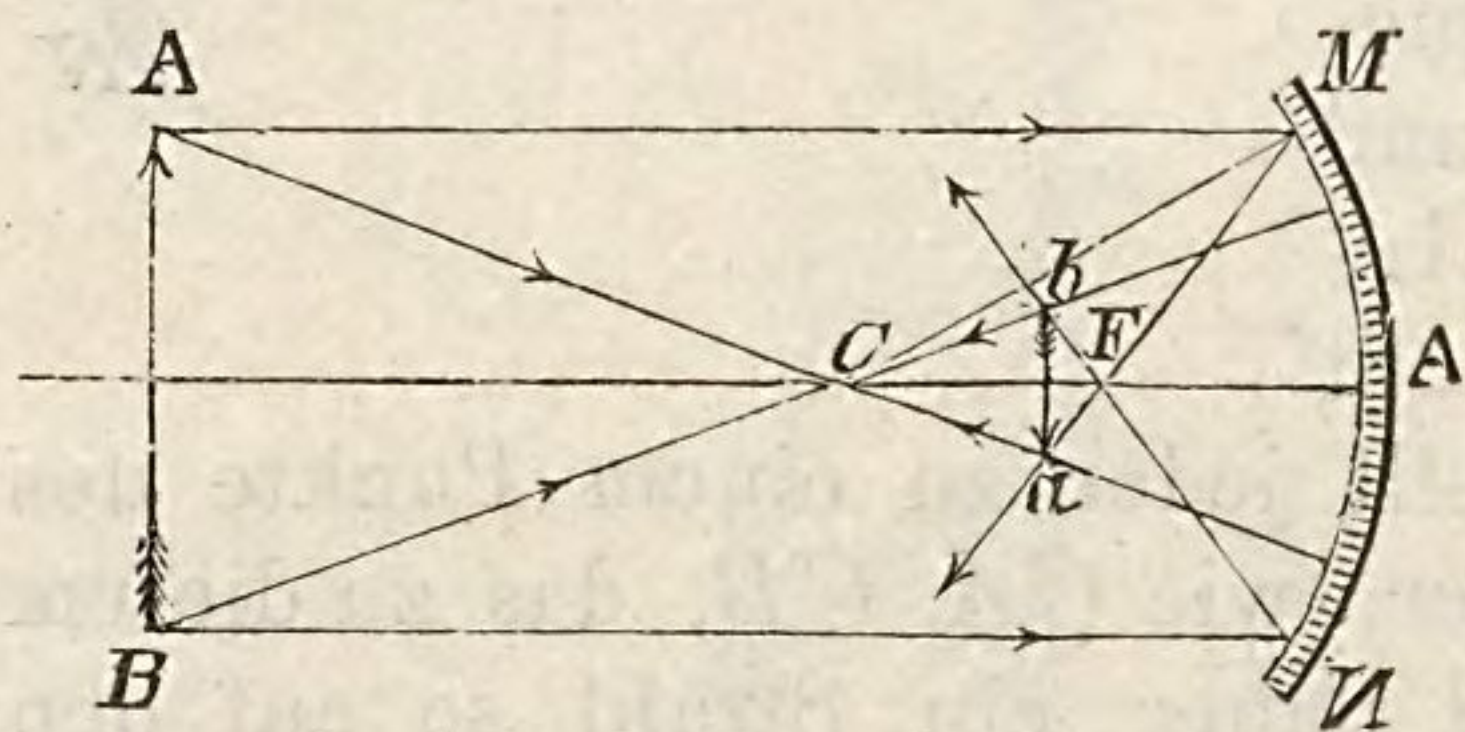
3. Bei einem sphärischen Hohlspiegel ist die Brennweite gleich dem halben Halbmesser desselben.

Befindet sich umgekehrt in F der leuchtende Punkt, so werden die von demselben auf den Spiegel fallenden Strahlen gerade den entgegengesetzten Weg wie vorhin nehmen.

4. Die vom Brennpunkte aus auf einen Hohlspiegel auffallenden Strahlen werden parallel zur Axe zurückgeworfen.

Versuch b). Man stelle vor dem Spiegel in einem Abstände, welcher grösser als der Halbmesser ist, einen Gegenstand AB (Fig. 229), z. B. eine Kerzenflamme auf; man sieht zwischen F und C das verkleinerte und verkehrte Bild ab des Gegenstandes, welches man mit Hilfe eines Schirmes auffangen kann. — Von der Entstehung dieses Bildes überzeugt man sich auch durch die Construction. Ist AB (Fig. 229) der leuchtende Gegenstand, so wird der von A ausgehende zur Axe parallele Strahl AM zum Brennpunkte F reflectiert; der reflectierte Strahl schneidet den Hauptstrahl des Punktes A im Punkte a , daher sieht das Auge das Bild von A im Punkte a . Sucht man ebenso das Bild b von B und verbindet die beiden Bildpunkte, so hat man das Bild von AB .

Fig. 229.



5. Von einem jenseits des Krümmungsmittelpunktes befindlichen Gegenstand entsteht zwischen dem Krümmungsmittelpunkt und dem Brennpunkt ein verkehrtes und verkleinertes Bild.

Lasse den Gegenstand vom Spiegel sich entfernen und näher an den Spiegel hinrücken; wie bewegt sich das Bild? — Construiere das Bild, wenn der Gegenstand im Krümmungsmittelpunkte liegt.

Ist die Flamme in ab , so entsteht das Bild in AB . Construiere das Bild.

6. Von einem zwischen Brennpunkt und Krümmungsmittelpunkt befindlichen Gegenstand entsteht ein vergrössertes und verkehrtes Bild vor dem Krümmungsmittelpunkt.

Welche Veränderungen in der Lage und Grösse des Bildes treten ein, wenn der Gegenstand dem Focus näher rückt? — Warum entsteht kein Bild, wenn der Gegenstand im Brennpunkte liegt?

Versuch c). Man stelle die Kerzenflamme zwischen Spiegel und Focus; es entsteht ein aufrechtes und vergrössertes Bild. Fig. 230 zeigt die Construction des Bildes. Man sieht dass in diesem Falle

die reflectierten Strahlen eigentlich nicht zum Durchschnitte gelangen, sondern nur so in's Auge treten, als kämen sie von ab .

7. Von einem innerhalb der Brennweite eines Hohlspiegels befindlichen Gegenstande ist hinter dem Spiegel ein aufrechtes und vergrössertes Bild wahrzunehmen.

Man nennt das hiebei entstehende Bild ein geometrisches Bild zum Unterschiede von den Luftbildern, welche in den Versuchen $a)$, $b)$ in Folge eines wirklichen Durchschnittes der reflectierten Strahlen entstanden sind. — Wie ändern sich Lage und Grösse des Bildes, wenn der Gegenstand dem Spiegel sich nähert?

Die Hohlspiegel werden als Brenn- und Beleuchtungsspiegel verwendet [Vgl. 2) und 4)]. Man benützt hiezu auch parabolische Hohlspiegel, für welche die Gesetze 2) und 4) ebenfalls gelten.

Fig. 230.

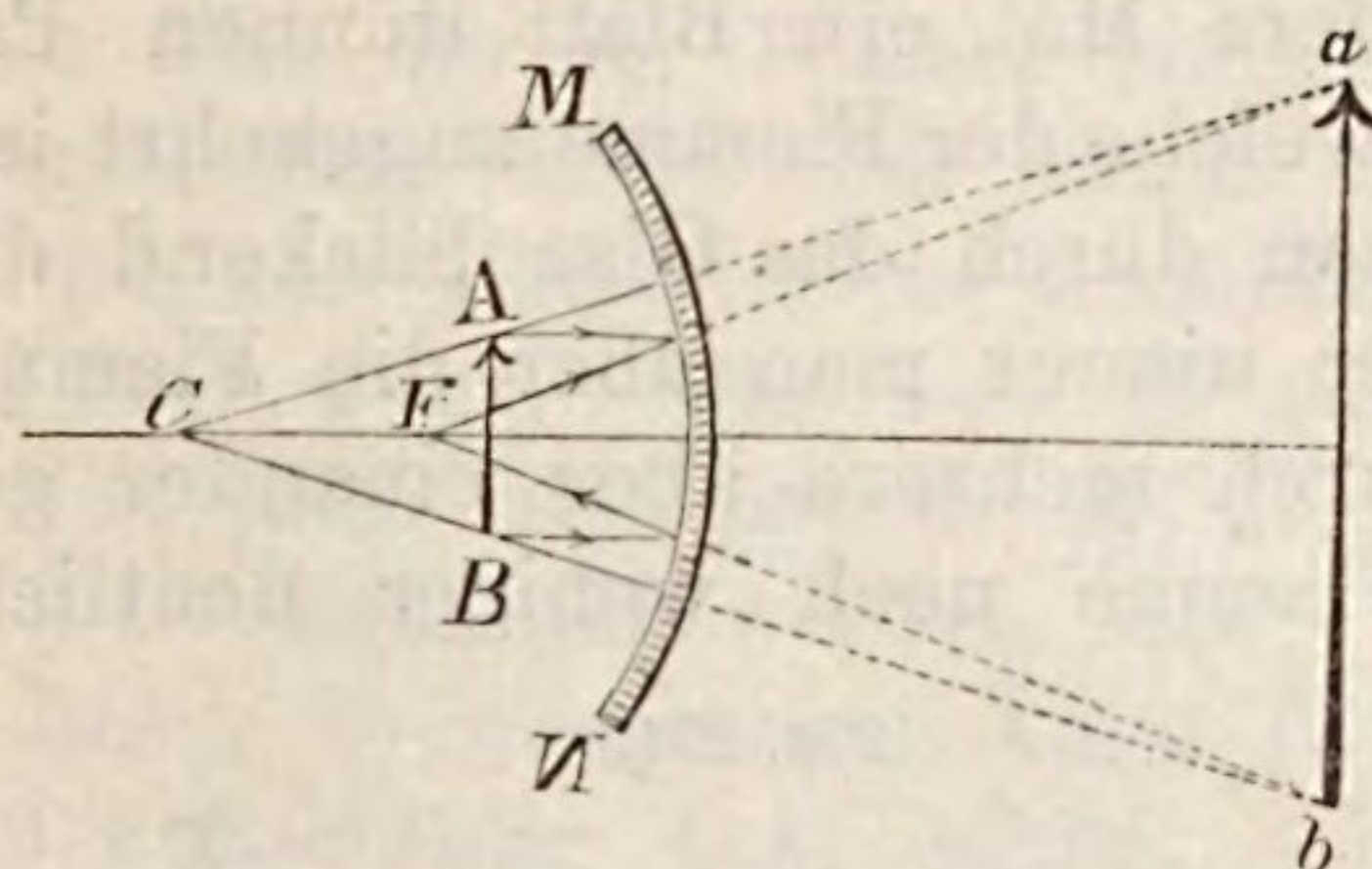
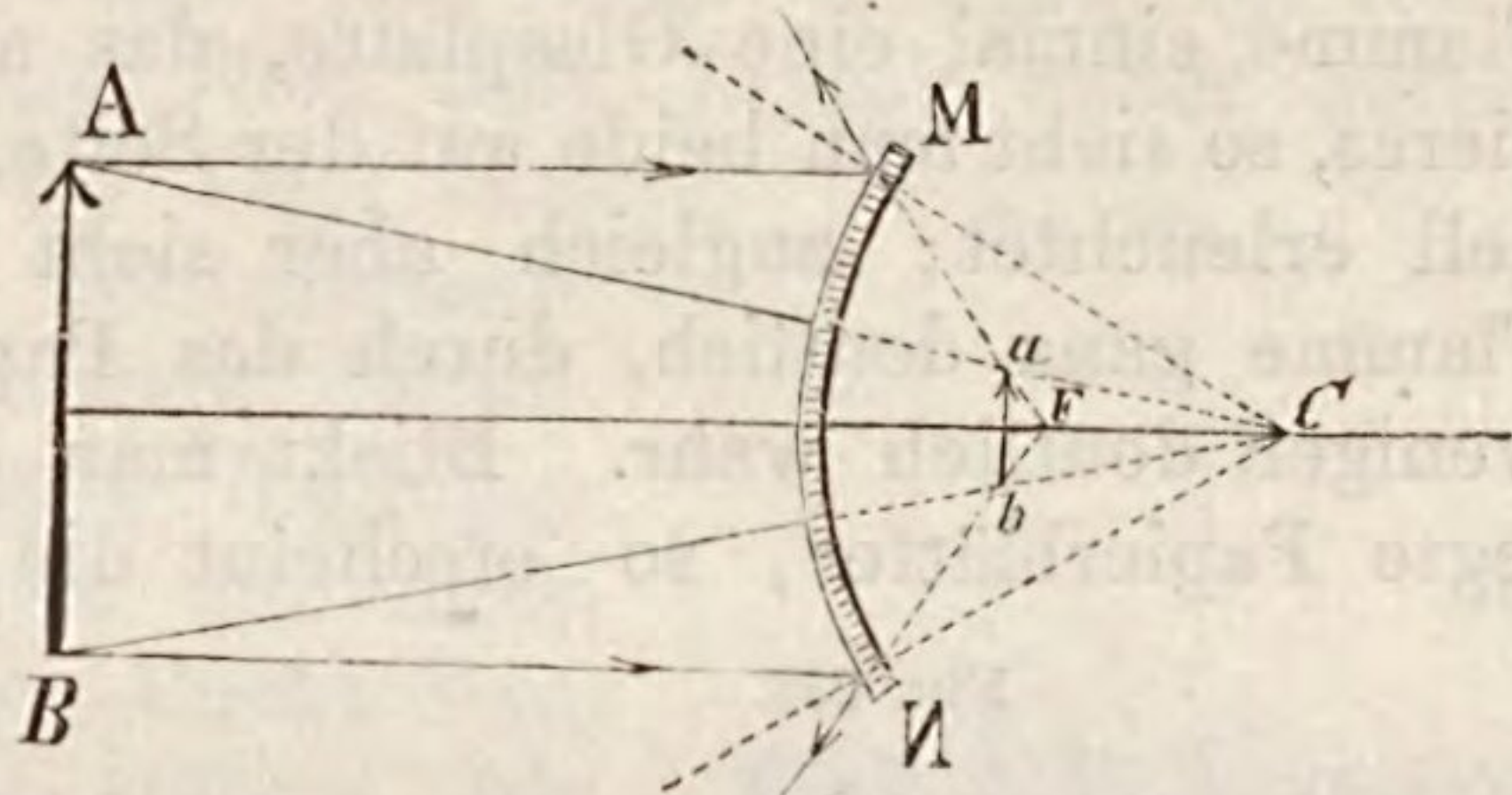


Fig. 231.

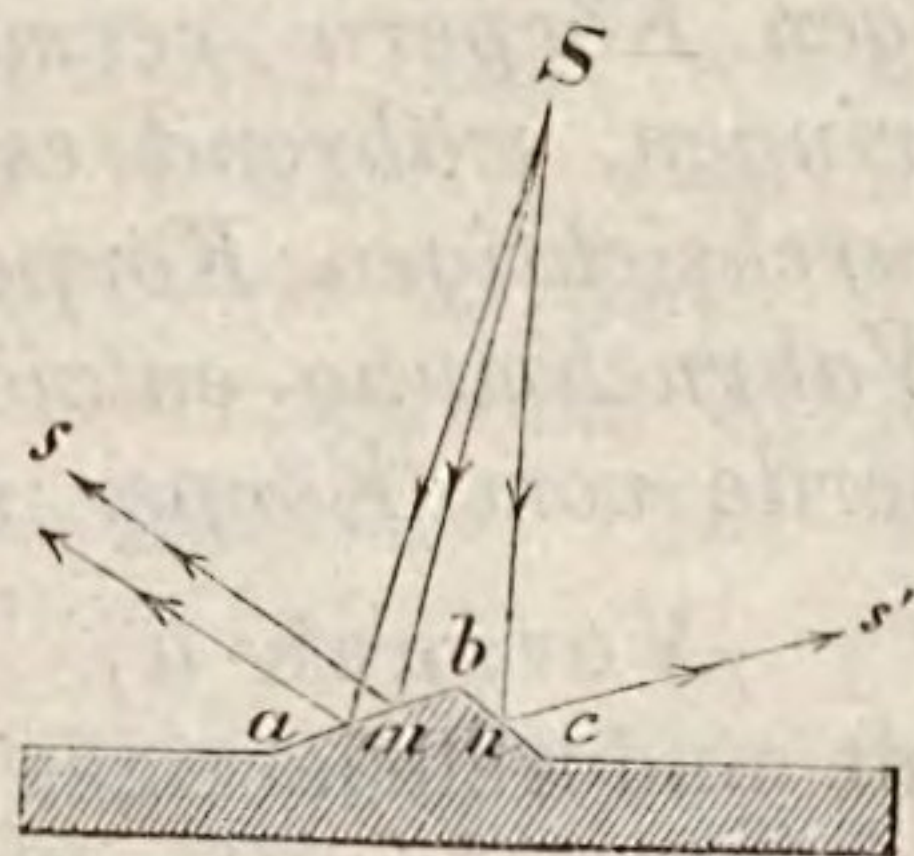


Hält man z. B. vor ein an der hohlen Seite geschwärztes Uhrglas eine Kerzenflamme, so sieht man hinter der spiegelnden Fläche ein aufrechtes verkleinertes Bild. Figur 231 zeigt die Construction des Bildes für einen sphärischen Convexspiegel. MN ist ein an der erhabenen Seite spiegelndes Stück einer Kugelschale, deren Mittelpunkt C ist; AB stellt den Gegenstand, ab das Bild desselben vor. Die in Gärten gebräuchlichen Glaskugeln gehören hierher.

Die gewöhnlichen Spiegel bestehen aus Glas, welches auf einer Seite mit Zinnamalgame belegt ist; in neueren Zeiten verfertigt man Spiegel aus Glas, welches auf einer Seite versilbert ist. Am besten sind die Metallspiegel.

151. Zerstreuung des Lichtes. Dämmerung. abc (Fig. 232) stelle eine Erhabenheit an der Oberfläche eines Körpers vergrössert vor; auf dieselbe falle vom leuchtenden Punkte S Licht auf. Der Strahl Sm wird in der Richtung ms , der Strahl Sn in der Richtung ns' u. s. w. reflectiert. Man sieht also, dass die Erhabenheit abc das auf sie fallende Licht nach allen Seiten hin zurückwirft und daher wie ein leuchtender Punkt von allen Seiten sichtbar wird. Dasselbe zeigt auch eine Vertiefung an der Oberfläche eines Körpers. Die Zurückwerfung des Lichtes, welche nicht so wie bei Spiegeln nur nach ganz bestimmten Richtungen erfolgt, nennt man unregelmässige Reflexion oder auch *Zerstreuung des Lichtes*. Das zerstreute Licht macht uns eben die beleuchteten Körper sichtbar.

Fig. 232.



Sei HH (Fig. 233) der Horizont des Ortes B und S die Sonne. Der auf das Dunst- oder Lufttheilchen a fallende Sonnenstrahl Sa

wird in der Richtung as reflectiert und erhellt den Punkt s des Horizontes. Die Sonne bewirkt also, trotzdem sie sich unter dem Horizonte befindet, in Folge der Zerstreuung ihres Lichtes an den Dunst- und Lufttheilchen noch eine Erhellung. Aus diesem Grunde findet weder ein plötzlicher Übergang vom Tage zur Nacht, noch umgekehrt statt, sondern es dämmt vorher. Die *Morgendämmerung* fängt an und die *Abenddämmerung* hört auf, wenn die Sonne 18^0 unterhalb des Horizontes steht. Im Sommer dauert die Dämmerung die ganze Nacht hindurch; im März und October ist sie am kürzesten und dauert etwa 2 Stunden. Dem in der Atmosphäre und von anderen Gegenständen zerstreuten Lichte verdanken wir es, dass wir selbst solche Gegenstände sehen, welche nicht unmittelbar beleuchtet werden.

152. Absorption und Brechung des Lichtes. Hält man vor eine Flamme einmal eine Glasplatte, das andere Mal ein Blatt dünnen Papiers, so sieht man beide auf der Seite, welche der Flamme zugekehrt ist, hell erleuchtet; zugleich aber sieht man durch das Glas blickend die Flamme ganz deutlich, durch das Papier nimmt man aber die Flamme weniger deutlich wahr. Blickt man durch mehrere über einander gelegte Papierblätter, so erscheint die Flamme noch weniger deutlich,

Fig. 233.

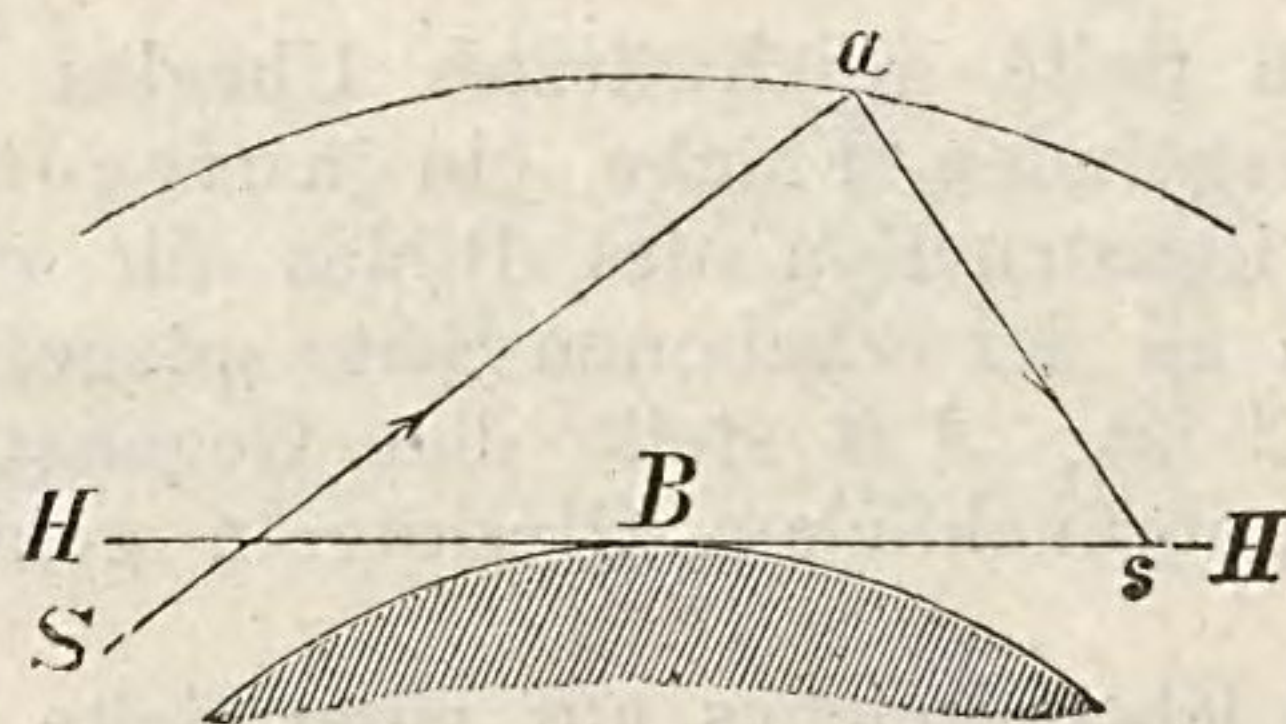
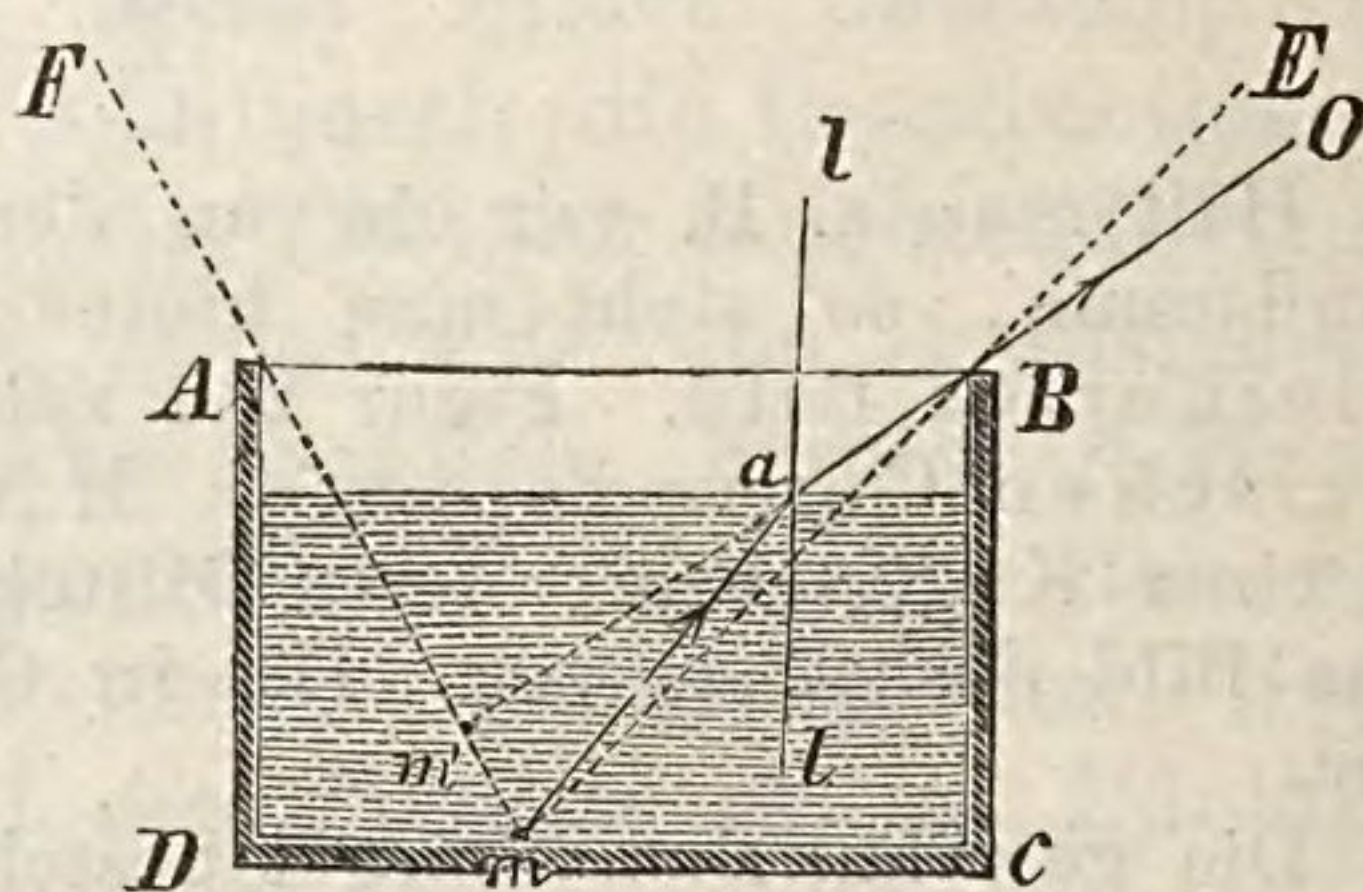


Fig. 234.



und sie verschwindet endlich ganz, wofern entsprechend viele Papierblätter angewendet werden.

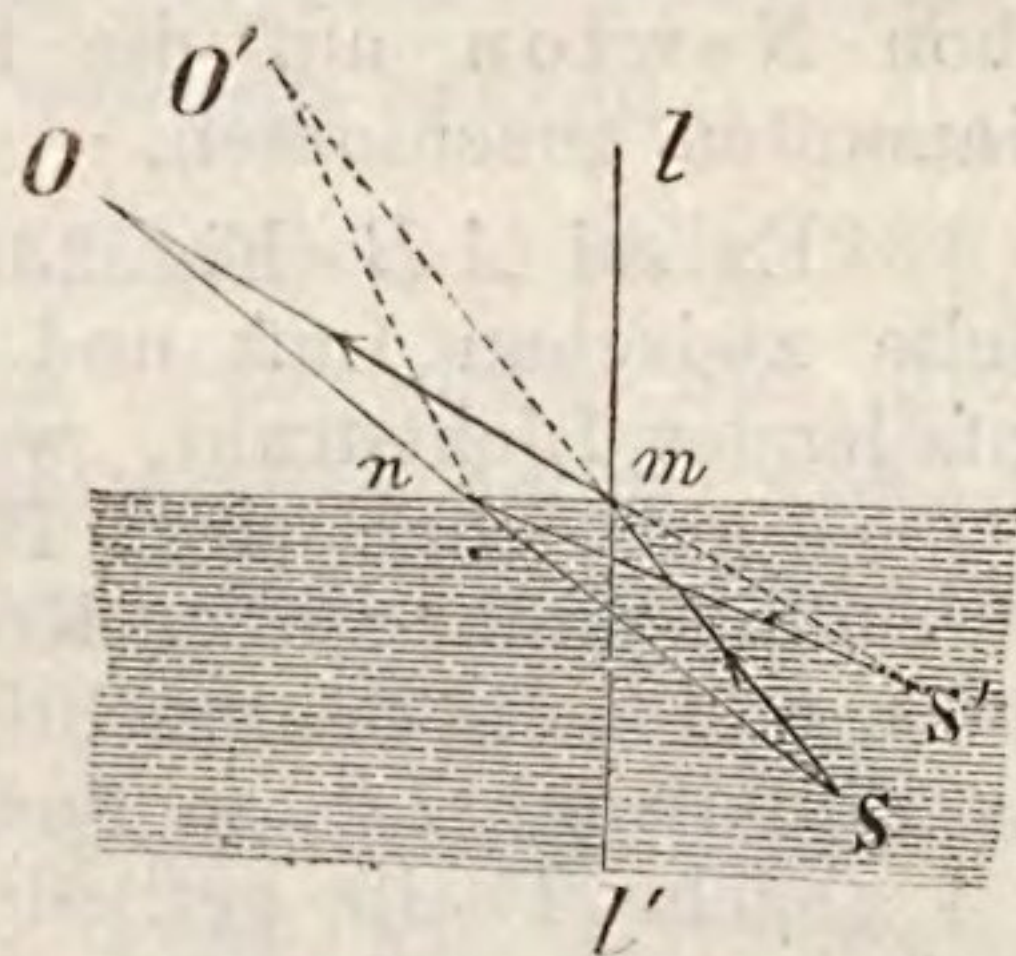
Fällt also Licht auf einen Körper auf, so wird ein Theil des Lichtes reflectiert, ein anderer Theil dringt in den Körper selbst ein und tritt auf der andern Seite wieder aus. Bei den durchsichtigen Körpern vermag das Licht bis zu bedeutender Tiefe einzudringen, während es bei durchscheinenden und insbesondere bei undurchsichtigen Körpern bald so geschwächt wird, dass es sich der Wahrnehmung entzieht; man sagt in dem letzteren Falle, das Licht werde vom Körper verschluckt oder absorbiert.

Versuch a). Macht man in einem Gefäß $ABCD$ (Fig. 234) mit undurchsichtigen Wänden am Boden einen Strich m , so geht von demselben ein Strahlenkegel EmF aus, und ein Auge sieht m nur dann, wenn es sich innerhalb EFm befindet. Hält man das Auge nach O , so dass ein von ihm zum Gefäßrande gezogene Gerade OB den Boden jenseits von m trifft, so ist m dem Auge unsichtbar. Das Auge sieht jedoch m in der Richtung OB in der Ebene OmF , wenn man Wasser in's Gefäß giesst; m erscheint dabei von seiner Stelle nach m' verrückt. Hieraus erkennt man, dass der von m ausgehende

Strahl ma , welcher auf die Wasseroberfläche schräg auffällt, das Wasser in der Richtung aO verlässt. — Hält man das Auge in's Wasser, so sieht man m an seiner ursprünglichen Stelle, ein Beweis, dass die von m ausgehenden Strahlen im Wasser ihre Richtung unverändert beibehalten. — Hält man das Auge in die durch m gehende Verticale, so sieht man m gleichfalls an der alten Stelle. Die Strahlen, welche also die Trennungsfläche des Wassers und der Luft senkrecht treffen, behalten auch in der Luft die ursprüngliche Richtung bei.

Versuch *b*). Halte einen Stab schräg in ein mit Wasser gefülltes Gefäss und blicke längs des Stabes hin; der Stab erscheint gerade an der Oberfläche des Wassers gebrochen. Eine auf dem Stabe gezogene Gerade OS (Fig. 235) sieht das Auge O dann als OnS' , so dass der im Wasser befindliche Theil dem Niveau näher gerückt erscheint; dabei aber nimmt O den Theil $S'n$ und den Theil nO in derselben Verticalebene lmO wahr. Der von S ausgehende Strahl Sm muss also bei m in die neue Richtung mO abgelenkt worden sein, denn nur unter dieser Voraussetzung kann O den Punkt S in der Richtung Om sehen. — Je stärker der Stab gegen die Wasserfläche geneigt wird, desto schräger fallen die Strahlen auf das Niveau auf; der Stab erscheint stärker gebogen. — Der Stab erscheint ganz gerade, wenn er vertical steht. — Befände sich umgekehrt das Auge in S , so würde der auf die Wasserfläche auffallende Strahl Om das Auge in der Richtung mS treffen und das Stück nO würde in der Lage nO' erscheinen. Während also ein aus dem Wasser in die Luft tretender Strahl von dem Einfallslothe abgelenkt wird, wird ein Strahl beim Übergange aus der Luft in das Wasser dem Einfallslothe genähert.

Fig. 235.



Das Licht wird also beim Übergange aus einem Mittel in ein anderes von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt oder, wie man zu sagen pflegt, gebrochen. Man nennt den Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe bildet, den Einfallswinkel, den Winkel, welchen der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe bildet, den Brechungswinkel. Ist der Brechungswinkel grösser als der Einfallswinkel, so sagt man, das Licht werde vom Einfallslothe gebrochen, im entgegengesetzten Falle sagt man das Licht werde zum Einfallslothe gebrochen. Nach den obigen Versuchen lassen sich folgende Gesetze für die Brechung des Lichtes aussprechen:

1. Das auf die Trennungsfläche zweier Mittel senkrecht auffallende Licht wird nicht gebrochen; dagegen erleidet ein schräg auffallender Strahl eine um so stärkere Brechung, je schiefer derselbe auffällt.

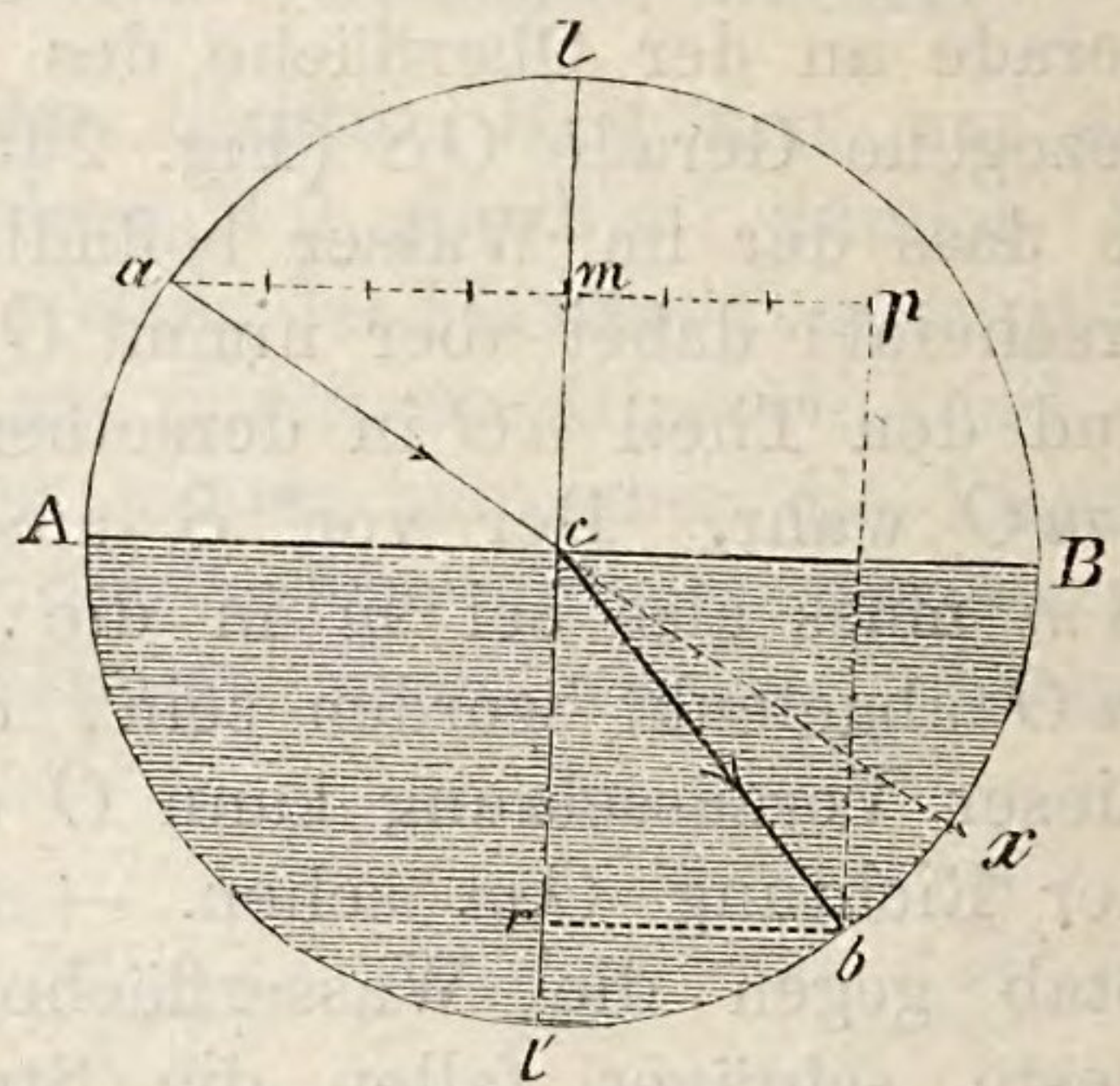
2. Der einfallende und der gebrochene Strahl liegen auf entgegengesetzten Seiten des Einfallslotes, jedoch mit diesem in einer Ebene.

3. Geht das Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres, z. B. aus dünnerer Luft in dichtere, oder aus der Luft ins Wasser, über, so wird es zum Einfallslothe, im entgegengesetzten Falle aber vom Einfallslothe gebrochen.

Dieses letztere Gesetz gilt ganz allgemein für solche Mittel, welche stofflich gleich und nur der Dichte nach verschieden sind. Wenn aber die Mittel sich auch dem Stoffe nach unterscheiden, so erleidet das dritte Gesetz mitunter Ausnahmen. Die brennbaren Körper z. B. brechen das Licht viel stärker als andere von der nämlichen oder selbst von grösserer Dichte. So sind Weingeist und Terpentinöl weniger dicht als Wasser und doch wird von jenen das Licht stärker als vom Wasser gebrochen. Aus dem Umstande, dass der Diamant das Licht sehr stark bricht, hat schon Newton auf die Brennbarkeit des Diamanten geschlossen.

Es sei AB (Fig. 236) die Trennungsfläche zwischen Luft und Wasser, ac ein einfallender Lichtstrahl, welcher im Wasser nach cb gebrochen wird. Beschreibt man um den Auffallspunkt c einen Kreis und zieht man von a und b die Senkrechten am und br auf das Einfallslot ll' , so findet man wenn am in 4 gleiche Theile getheilt wird, dass br genau drei solche Theile enthält und dass daher $\frac{am}{br} = \frac{4}{3}$ ist. Mag der Einfallswinkel welcher immer sein, der

Fig. 236.



Brechungswinkel ändert sich immer derartig, dass stets der Quotient $\frac{am}{br} = \frac{4}{3}$

bleibt. Befände sich unter AB Glas, so würde $\frac{am}{br} = \frac{3}{2}$ gefunden. — Nennt man die Senkrechte am den Sinus des Einfallswinkels, br den Sinus des Brechungswinkels, so erhält man den Satz: *Das Licht wird beim Übertritt aus einem Mittel in ein zweites derart gebrochen, dass der Sinus des Einfallswinkels dividirt durch den Sinus des Brechungswinkels für dieselben zwei Mittel stets denselben Werth hat.* Die Zahl, welche den Werth dieses Quotienten angibt, wird der Brechungsexponent zwischen dem ersten und zweiten Mittel genannt. Derselbe ist für verschiedene Mittel verschieden gross; so ist er nahe $\frac{4}{3}$ für den Fall, wo das Licht aus Luft in's Wasser übertritt, dagegen $\frac{3}{2}$ für den umgekehrten Gang des Lichtes; für den Übertritt aus Luft in's Glas ist der Brechungsexponent etwa $\frac{3}{2}$.

Dem Gesagten zufolge kann man den gebrochenen Strahl durch Construction finden, wenn der einfallende Strahl gegeben ist. Man beschreibt um den Einfallspunkt c (Fig. 236) mit einem beliebigen Halbmesser einen Kreis, zieht auf das Einfallslot die Senkrechte am und theilt diese in so viele gleiche Theile als der Zähler des Brechungsexponenten zwischen den zwei Mitteln angibt, trägt solcher Theile so viele, als der Nenner des Brechungsexponenten anzeigt, auf die Verlängerung mp auf und zieht $pb \perp ap$. Die Gerade, welche den Punkt b mit c verbindet, stellt den gebrochenen Strahl vor.

Die Brechung des Lichtes hat ihren Grund in der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht in verschiedenen Mitteln fortpflanzt. Das Licht pflanzt sich nämlich in einem dichteren Mittel langsamer fort als in einem dünneren. — Gewisse Körper, wie z. B. der Doppelspath haben die Eigenschaft, den in sie eintretenden Lichtstrahl in zwei Strahlen zu zerlegen, so dass man durch sie einen

Gegenstand doppelt sieht. Man nennt diese Erscheinung Doppelbrechung. — Astronomische und terrestrische Strahlenbrechung.

153. Totale Reflexion. Versuch *a*). Man halte ein mit Wasser gefülltes Glas *A* (Fig. 237) vor ein Kerzenlicht, so dass sein Boden etwa in die Höhe der Flamme *f* zu liegen kommt. Sieht das Auge *O* schräg in der Richtung *Oc*, so nimmt es daselbst einen sehr hellen

Fig. 237.

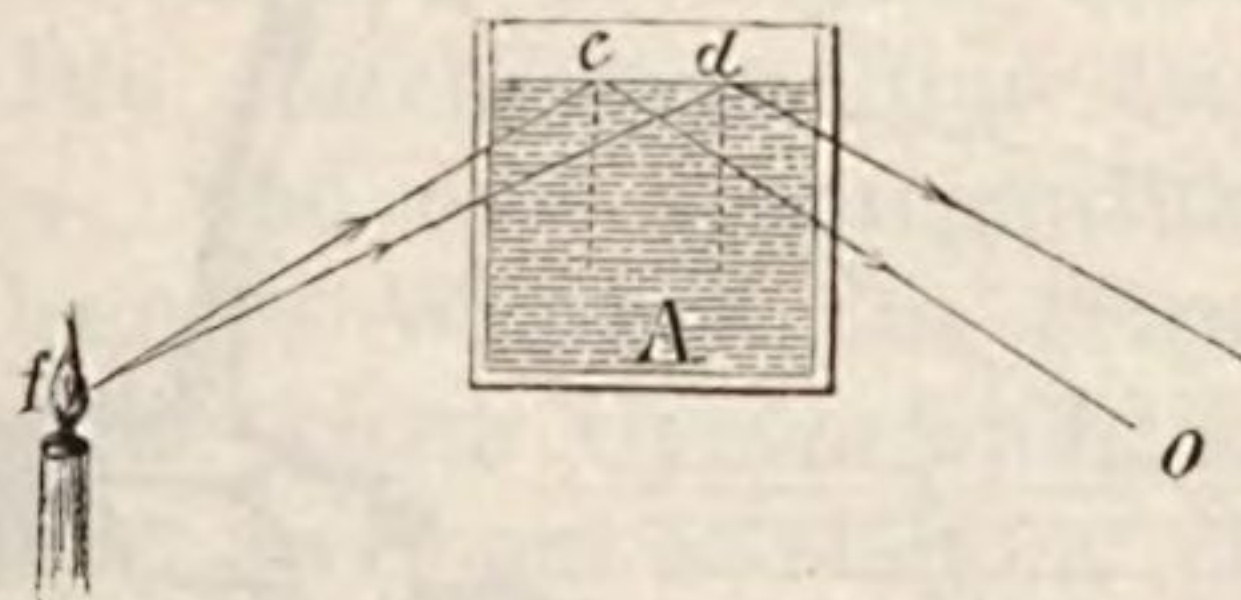
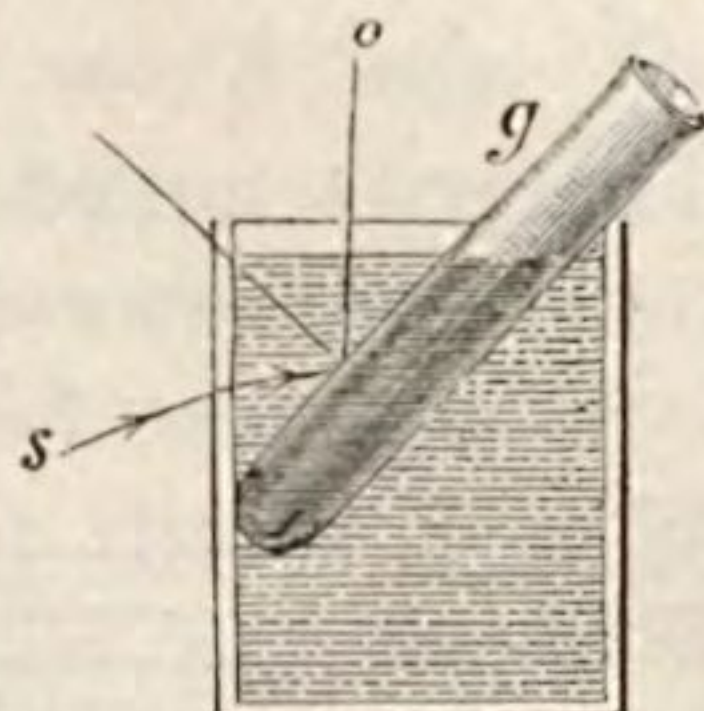


Fig. 238.



Glanz wahr. Die sehr schräg gegen das Niveau auffallenden Strahlen wie *fc*, *fd* werden hier in das alte Mittel (das Wasser) zurückgebrochen, so als wenn sie am Niveau reflectiert worden wären.

Versuch *b*). Man halte ein leeres Reagenzgläschen *g* (Fig. 238) schräg in ein mit Wasser gefülltes Gefäss. Dem von oben auf das Gläschen schauenden Auge *o* erscheint der eingetauchte Theil von *g* stark spiegelnd, so als ob derselbe mit Quecksilber gefüllt wäre. Giesst man etwas Wasser in *g* ein, so verschwindet die Spiegelung gerade so weit als das Wasser in *g* reicht. Die von *s* kommenden Strahlen fallen sehr schief auf *g* und treten nicht in die Luft des Röhrchens ein, sondern werden nach *o* aufwärts zurückgeworfen.

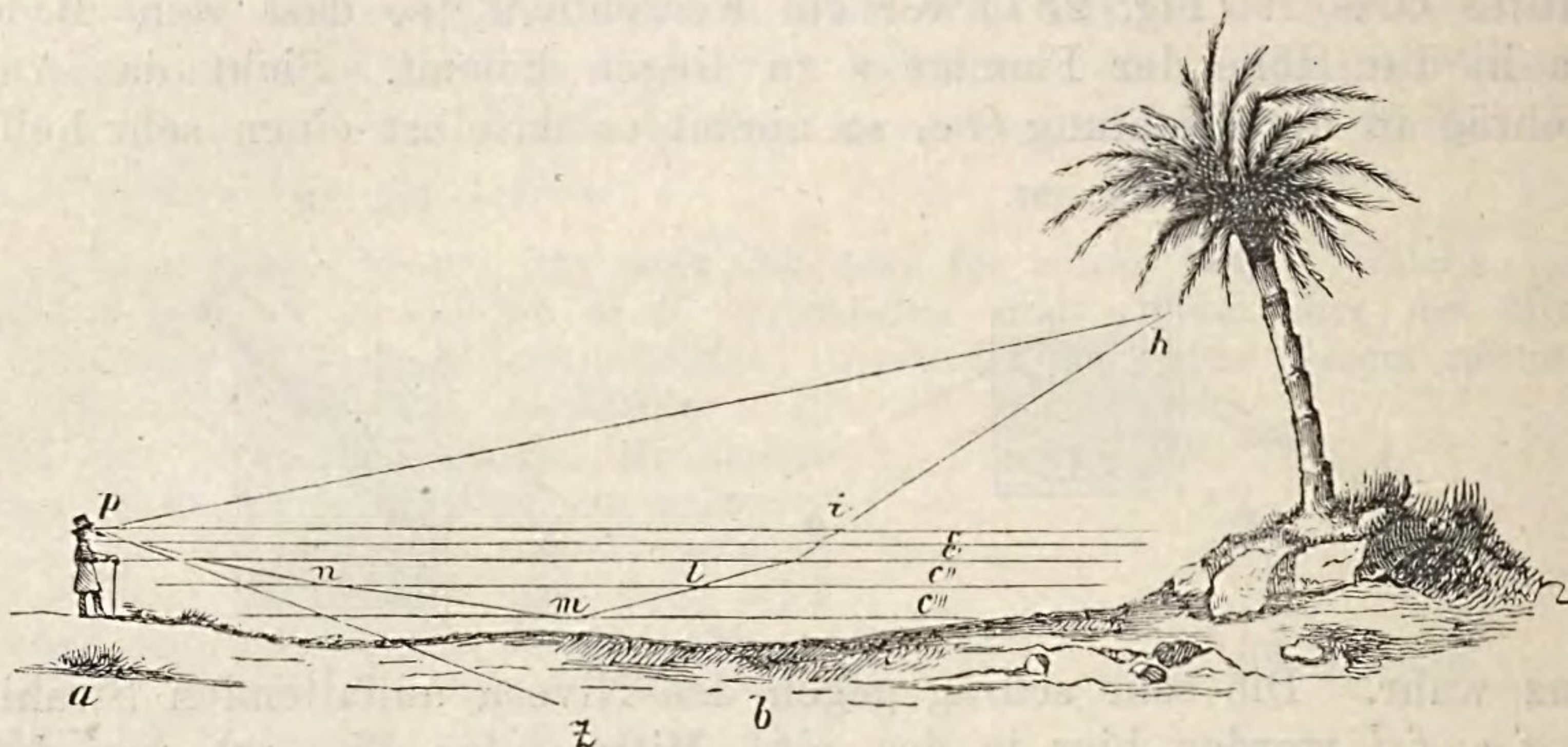
Trifft Licht auf ein Mittel, in welchem es vom Einfallslothe gebrochen wird, in sehr schräger Richtung, also unter einem grossen Einfallswinkel, so wird es, ohne in das neue Mittel einzutreten, vollständig in das alte Mittel zurückgeworfen. Man nennt diese Erscheinung die totale Reflexion.

Tritt z. B. Licht aus Wasser in Luft über, so wächst der Brechungswinkel mit dem Einfallswinkel; ist letzterer $48\frac{1}{2}^{\circ}$, so ist jener gerade 90° , und der gebrochene Strahl fällt gerade in die Trennungsfläche zwischen Wasser und Luft. Wird daher der Einfallswinkel etwas grösser als $48\frac{1}{2}^{\circ}$, so fällt der gebrochene Strahl in das Wasser selbst hinein und es hat den Anschein als wäre das Licht gänzlich (total) reflectiert worden.

Wird die Bodenfläche *ab* (Fig. 239) von der Sonne sehr stark erhitzt, so werden auch die über *ab* gelagerten Luftschichten *c'''*, *c''*, *c'* ... erwärmt und zwar die dem Boden näher liegenden stärker als die entfernteren. Ist nun die Luft sehr ruhig, so kann es geschehen, dass diese erwärmten Luftschichten nicht aufsteigen, sondern über dem Boden gelagert bleiben. Befindet sich nun in *h* ein Gegenstand und in *p* ein Beobachter, so sieht dieser den Gegenstand unmittelbar in der Richtung *ph*. Da nun aber von *h* Strahlen nach allen Seiten ausgesendet werden, so trifft auch z. B. ein Strahl *hi* die Luftschicht *c*; dieser Strahl wird wegen der geringeren Dichte der unteren Luftschichten vom Einfallslothe gebrochen und nimmt daher den Weg *ilm*; in *m* fällt er aber so schräg auf, dass er total reflectiert wird und dann auf dem Wege *mnp* in das Auge des Beobachters gelangt, wesshalb dieser ein verkehrtes Bild von *h* in der Richtung *pz* sieht. Das Ganze macht also auf den Beobachter den Eindruck, als befände er sich vor einer Wasserfläche, in welcher sich die Gegenstände des Ufers abspiegeln. Man nennt diese Erscheinung Luftspiegelung (*fata morgana*). Die-

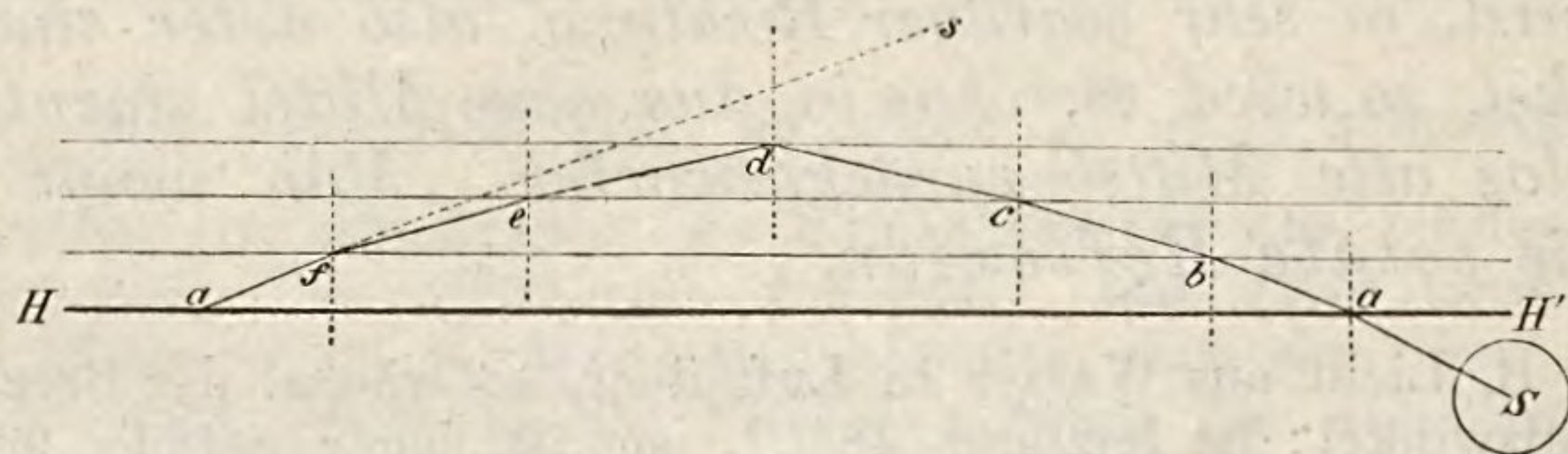
selbe tritt z. B. in den sandigen Ebenen von Niederägypten, Ungarn sehr häufig auf. — Sind die dem Boden nahe gelegenen Luftschichten kälter und

Fig. 239.



daher dichter als die oberen, wie diess z. B. in den Polargegenden auf dem Meere vorkommt, so kann ein in a (Fig. 240) befindlicher Beobachter einen unter dem Horizonte HH' befindlichen Gegenstand z. B. die Sonne S über dem Horizonte

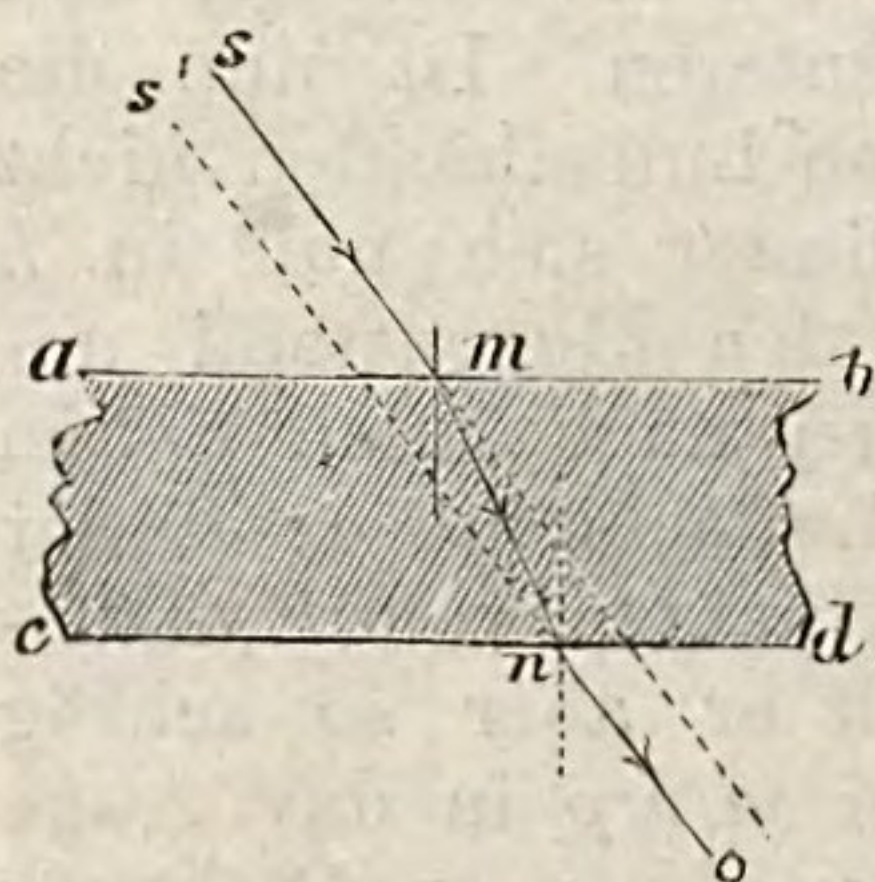
Fig. 240.



in der Richtung as erblicken. In a , b , c erfolgt die Brechung vom Einfallslothe, in d tritt totale Reflexion ein, worauf der Strahl zum Einfallslothe gebrochen wird.

154. Brechung des Lichtes in Platten und Prismen. Auf eine

Fig. 241.



von den parallelen Ebenen ab und cd (Fig. 241) begrenzte Glasplatte falle ein Lichtstrahl sm auf. Der Strahl wird beim Eintritte ins Glas zum Einfallslothe; beim Übertritt aus dem Glase in die Luft aber ebenso stark vom Einfallslothe gebrochen; denn der Brechungswinkel bei m ist gleich dem Einfallswinkel bei n , wesshalb auch der Brechungswinkel bei n dem Einfallswinkel bei m gleich sein muss. Der Strahl tritt daher in der zu sm parallelen Richtung no aus dem Glase und ein in o befindliches Auge sieht daher den Punkt s in der Richtung os' .

Lichtstrahlen, welche auf einen von parallelen Ebenen begrenzten durchsichtigen Körper schräg auffallen, treten aus demselben parallel zur Einfallsrichtung.

Daraus erklärt es sich, warum die Gegenstände, wenn man sie durch eine dickere Glasscheibe zugleich und schräg ansieht, ihre gegenseitige Lage nicht ändern, obgleich sie dem Auge von ihrer ursprünglichen Stelle etwas verrückt erscheinen. Diese Verrückung ist bei dünnen Platten unmerklich.

Ein durchsichtiger Körper, welcher zwei ebene Grenzflächen besitzt, die sich schneiden, wird ein *Prisma* genannt. Die Durchschnittslinie der beiden ebenen Grenzflächen heisst die Kante, und der Neigungswinkel der ebenen Grenzflächen heisst der brechende Winkel des Prismas. Blickt man durch ein solches Prisma gegen einen Gegenstand, so erscheint dieser von seiner Stelle verrückt und zwar um so stärker, je grösser der brechende Winkel des Prismas ist und je stärker das Licht vom Prisma gebrochen wird. Es sei ABC (Fig. 242) ein Schnitt eines Prismas, welcher senkrecht auf die brechende Kante geführt ist. $\angle BCA$ stellt also den brechenden

Fig. 242.

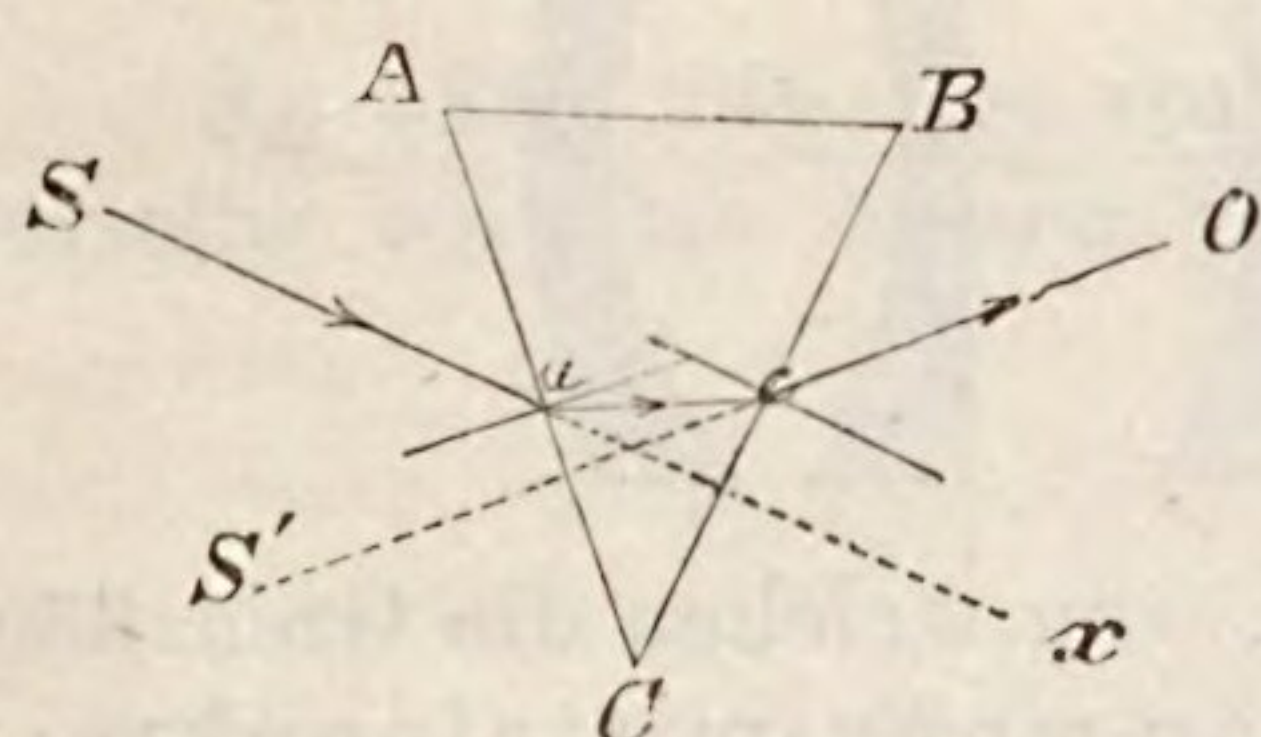
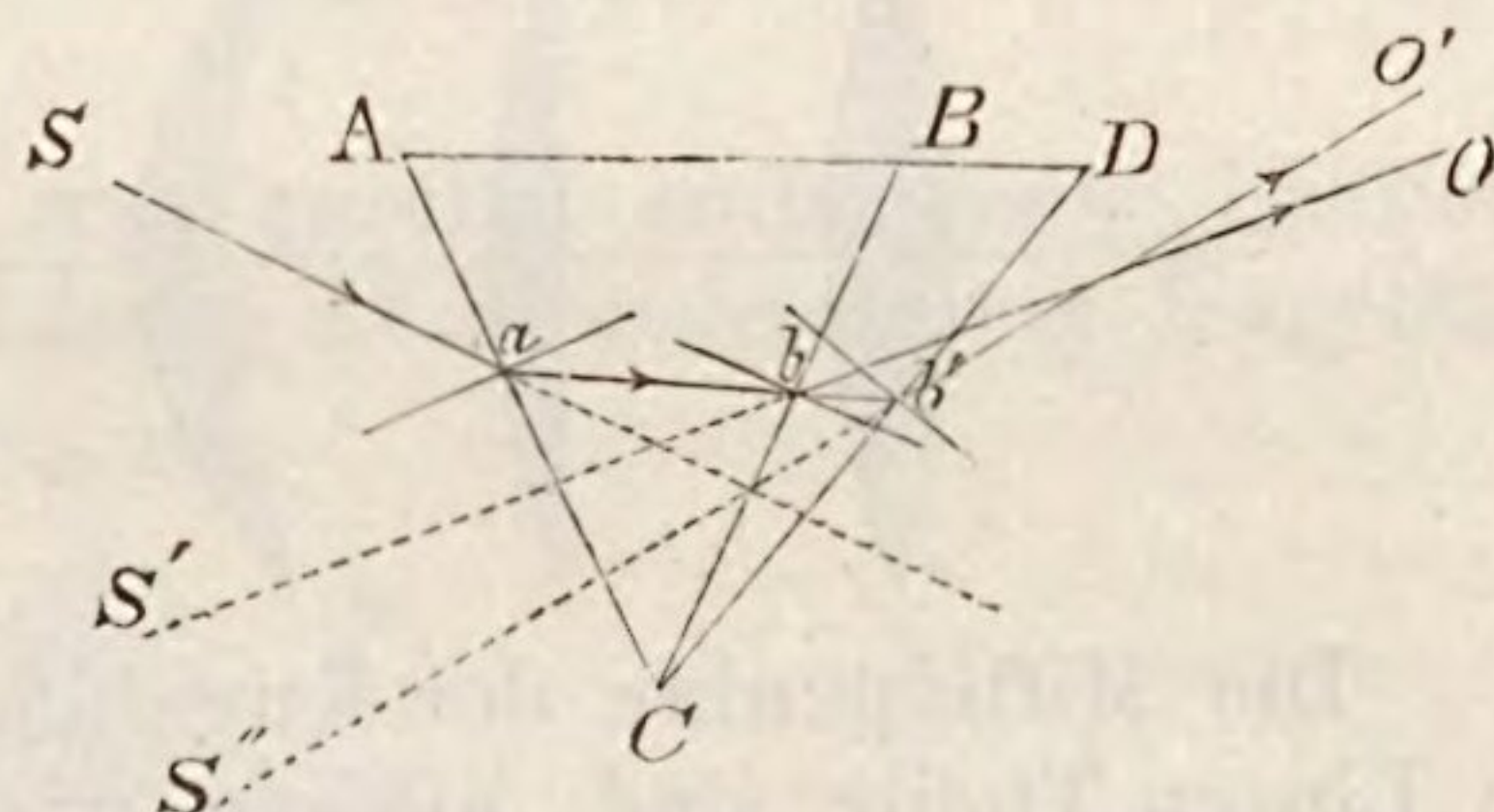


Fig. 243.



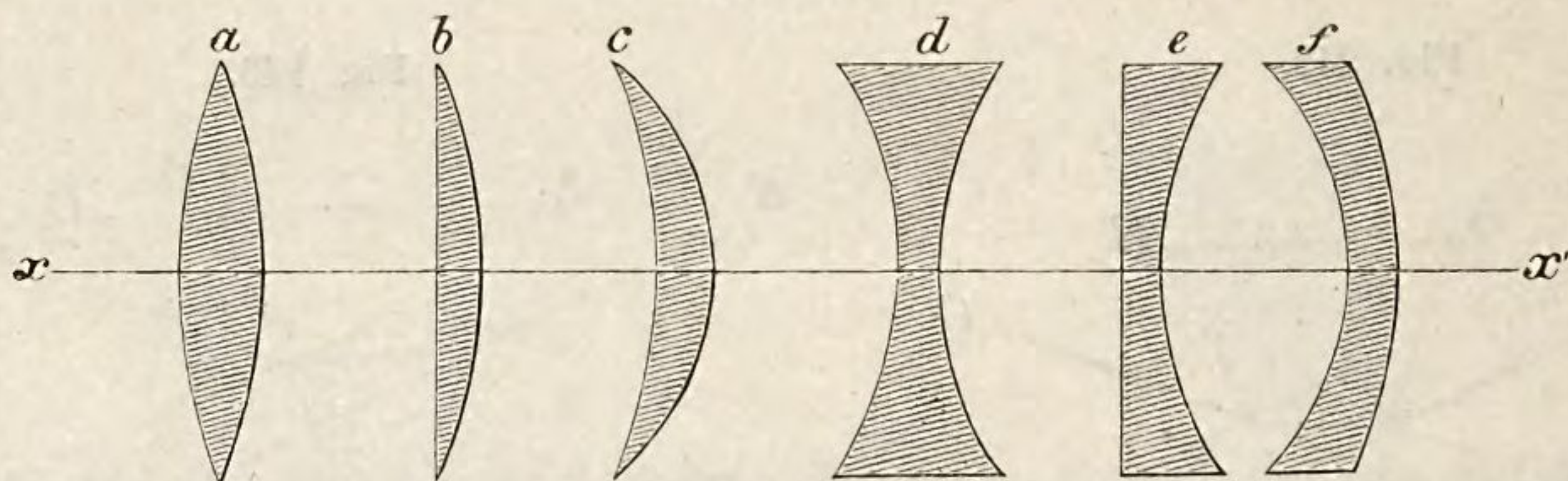
Winkel vor. Ist nun Sa der einfallende Strahl, so wird derselbe im Prisma zum Einfallslothe nach ac , beim Austritte in die Luft vom Einfallslothe nach cO gebrochen. Das in O befindliche Auge erblickt daher den leuchtenden Punkt nicht in S , sondern in S' an einer der brechenden Kante näher gelegenen Stelle. — Dass der Punkt S stärker verrückt wird, wenn der brechende Winkel des Prismas wächst, zeigt Fig. 243, in welcher der brechende Winkel des Prismas ABC durch Anfügen des Prismas BCD vergrößert erscheint. Bei alleiniger Verwendung von ABC geht der einfallende Strahl Sa in der gebrochenen Linie $SabO$; dagegen schlägt er nach Hinzufügung des Prismas BCD den Weg $Sab'O'$ ein. Das Auge sieht im ersten Falle den leuchtenden Punkt in S' , im zweiten Falle aber in S'' .

Lichtstrahlen, welche auf ein Prisma schräg auffallen, treten aus demselben in Richtungen aus, welche mit der Einfallsrichtung einen Winkel bilden; die Ablenkung wird grösser, wenn der brechende Winkel wächst und wenn das Licht von der Substanz des Prismas stärker gebrochen wird.

In welcher Richtung wird ein Gegenstand verrückt erscheinen, wenn der brechende Winkel des Prismas nach aufwärts gekehrt ist? — Durch ein Rautenglas angesehen erscheint ein Gegenstand vervielfältigt, weil die auf die verschiedenen Flächen auffallenden Strahlen verschieden gebrochen werden und daher das Auge in verschiedenen Richtungen treffen.

155. Linsen. Von besonderer Wichtigkeit ist die Betrachtung der Art und Weise, wie das Licht in den sogenannten Linsen gebrochen wird. Unter einer *Linse* verstehen wir hier einen durchsichtigen Körper, welcher von mindestens einer Kugelfläche begrenzt ist. Man unterscheidet Convex- und Concav-linsen. Die *Convexlinsen* sind: a) *biconvexe*, wenn sie von zwei nach aussen gewölbten Stücken einer Kugelfläche, b) *planconvexe*, wenn sie von einer Ebene und von einem nach aussen gewölbten Stück einer Kugelfläche, c) *concav-convexe*, wenn sie von einem hohlen und einem stärker gekrümmten erhabenen Theil einer Kugelfläche begrenzt sind. Die *Concavlinsen* zerfallen in d) *biconcave*, welche von hohlen Theilen einer Kugelfläche, e) *plancocave*, welche von einer Ebene und von einem hohlen Theil einer Kugelfläche, f) *convex-concave*, welche von einem erhabenen und einem stärker gekrümmten hohlen Theil einer Kugelfläche begrenzt sind. Diese Linsenformen sind der Reihe nach in Fig. 244 dargestellt.

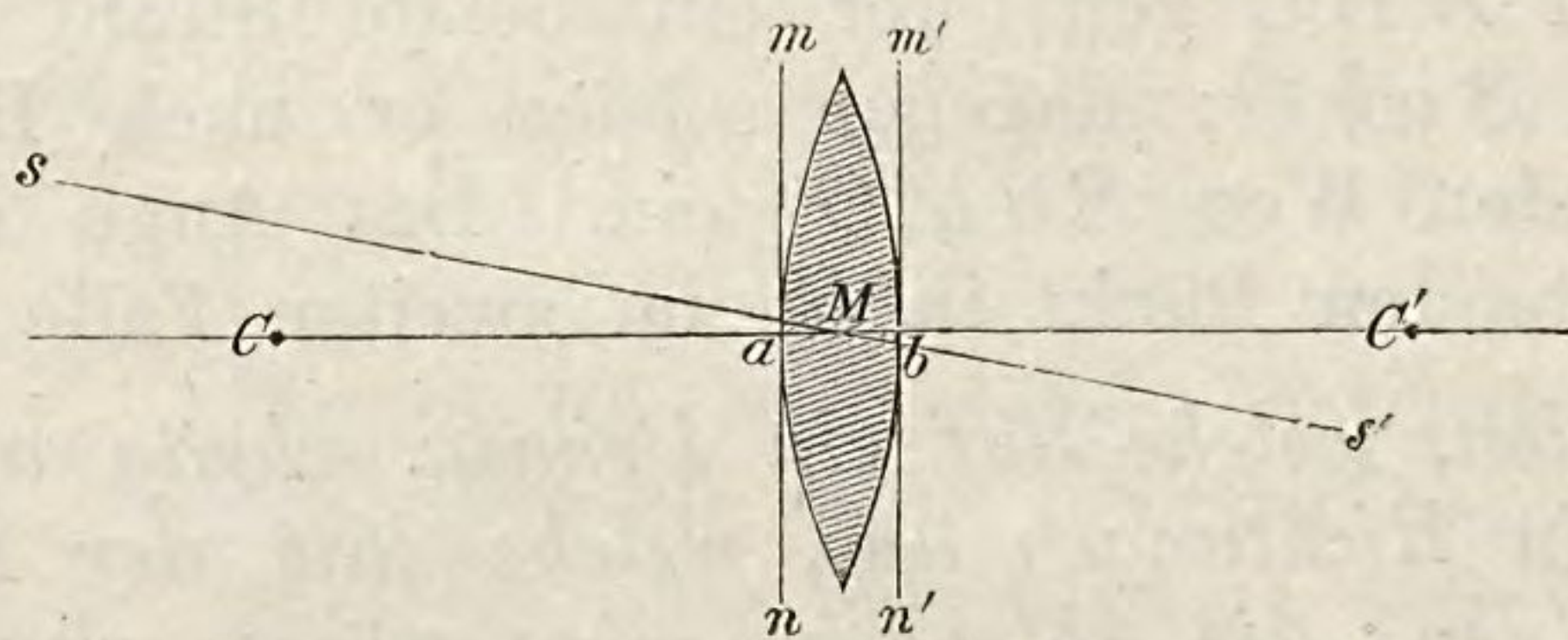
Fig. 244.



Die Mittelpunkte der Kugelflächen, von welchen die Grenzflächen der Linsen Theile sind, heissen wir Krümmungsmittelpunkte; der Punkt, welcher in der Mitte zwischen den beiden Grenzflächen liegt, wird der optische Mittelpunkt der Linse genannt. Die Gerade xx' , welche durch die Krümmungsmittelpunkte und durch den optischen Mittelpunkt der Linse geht, heisst die *Axe der Linse*.

Die Convexlinsen sind in der Mitte dicker als am Rande; bei den Concavlinsen ist das umgekehrte der Fall. — Als Repräsentanten der Convexlinsen betrachten wir in der Folge die biconvexen, als Repräsentanten der Concavlinsen aber die biconcaven Linsen.

Fig. 245.



156. Convexlinsen. Fig. 245 stellt eine Biconvexlinse vor, deren Krümmungsmittelpunkte C, C' sind, deren optischer Mittelpunkt M , und deren *Axe* CC' ist. In den Punkten a, b , in welchen die Grenzfläche der Linse von der optischen *Axe* getroffen wird, denke man sich die Ebenen mn und $m'n'$ senkrecht auf CC' gelegt; diese Ebenen fallen mit sehr kleinen Stücken der Grenzflächen zusammen.

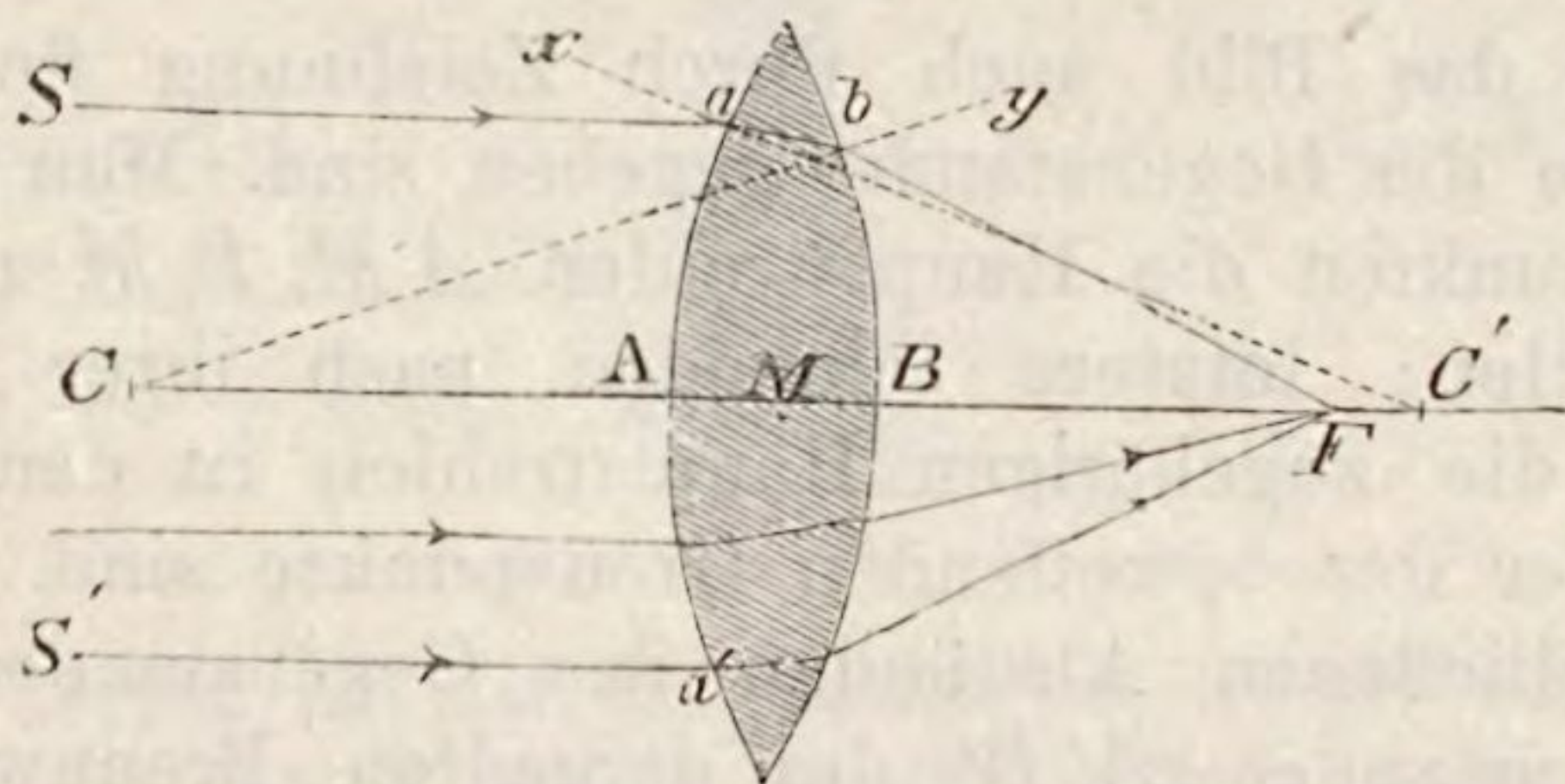
Man ersieht, dass ein in der Richtung der optischen Axe auf die Linse fallender Strahl ungebrochen durchgeht, weil er auf mn und $m'n'$ und daher auch auf die Grenzflächen der Linse senkrecht auffällt. Ebenso ist ersichtlich, dass Strahlen, welche wie z. B. der Strahl ss' sehr nahe bei a und b auffallen und deren Richtung zugleich durch den optischen Mittelpunkt geht, mit mn und $m'n'$ nahezu rechte Winkel bilden und daher fast gar keine Ablenkung erleiden. Heissen wir die durch den optischen Mittelpunkt einer Linse gehenden Strahlen Hauptstrahlen, so haben wir das Gesetz:

1. *Hauptstrahlen gehen durch Convexlinsen ungebrochen durch.*

Versuch a). Lässt man auf eine Convexlinse z. B. auf ein sogenanntes Brennglas Sonnenstrahlen parallel zur Axe auffallen, so sieht man auf einem hinter der Linse stehenden Papierschirm ein Sonnenbild, welches bei entsprechender Entfernung des Schirmes von der Linse nahezu ein Punkt ist; das Papier verbrennt in diesem Punkte. Aus letzterem Grunde heisst der Punkt, in welchem die zur Axe parallel auffallenden Strahlen vereinigt werden, der *Brennpunkt* (Focus) und sein Abstand von der Linse die *Brennweite* der letzteren.

Sa (Fig. 246) sei ein zur Axe parallel auffallender Lichtstrahl. Derselbe wird bei a zum Einfallslothe $C'x$, welches bei Kugelflächen

Fig. 246.



immer der zum Einfallspunkte gezogene Halbmesser ist, in der Richtung ab , bei b aber vom Einfallslothe $C'y$ in der Richtung bF gebrochen. Ähnlich erfolgt die Brechung anderer zur Axe paralleler Strahlen wie des Strahles $S'a'$, so dass alle Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse in F vereinigt werden. F ist also der Brennpunkt und BF (oder eigentlich MF) die Brennweite der Linse. Es ergibt sich also das Gesetz:

2. *Die parallel zur Axe auffallenden Strahlen werden in Convexlinsen so gebrochen, dass sie sich in dem hinter der Linse liegenden Brennpunkte vereinigen.* Die Convexlinsen werden deshalb auch *Sammellinsen* genannt.

Die Brennweite einer Linse ist um so kleiner, je stärker die Grenzflächen gekrümmt sind und je stärker das Licht von der Substanz der Linse gebrochen wird. Bei planconvexen und concavconvexen Linsen ist die Brennweite bei sonst gleichen Umständen grösser als bei biconvexen. — Jede Linse hat eigentlich zwei Brennpunkte, wovon der eine der vorderen, der andere der hinteren Grenzfläche entspricht. Man kann sich hievon leicht überzeugen, wenn man die eine und nachher die andere Grenzfläche der Sonne zukehrt.

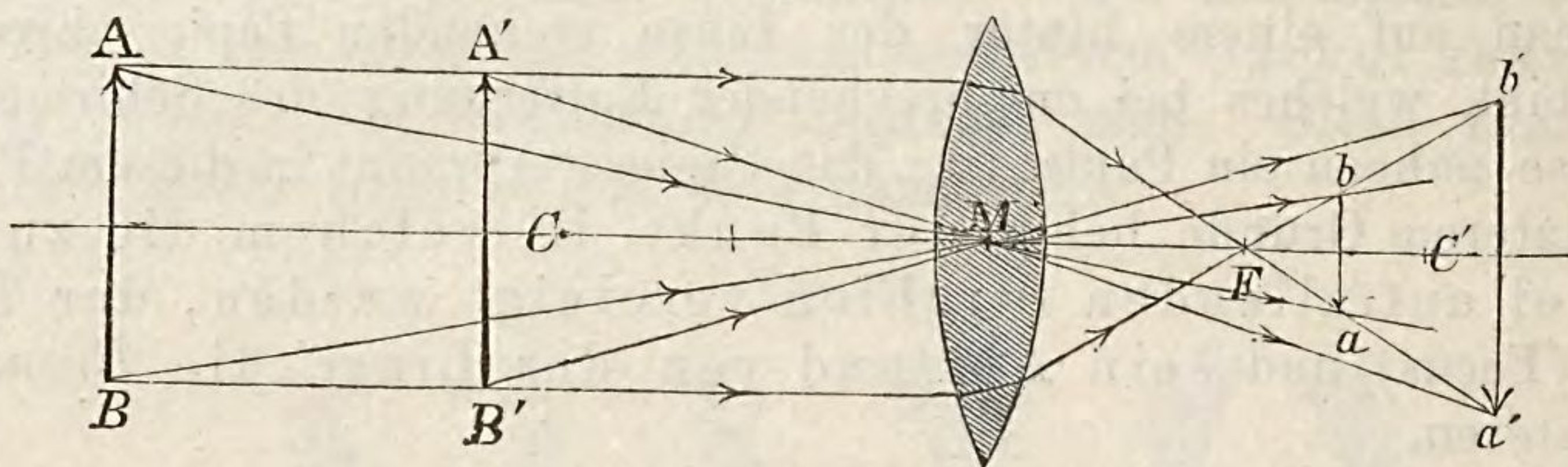
Versuch b). Stellt man in den Brennpunkt F einer Convexlinse eine Flamme, so sieht man auf einem hinter der Linse stehenden Schirm einen Kreis hell erleuchtet. — Aus Fig. 246 ist zu ersehen, dass die von F ausgehenden Strahlen parallel zur Axe aus der Linse treten.

3. *Die vom Brennpunkte ausgehenden Strahlen treten aus der Convexlinse in Richtungen aus, welche parallel zur Axe sind.*

Die Convexlinse kann daher nicht nur als Brennglas, sondern auch zu Beleuchtungszwecken benützt werden. Vergleich mit den Concavspiegeln.

Versuch c). Man stelle vor eine Convexlinse M (Fig. 247) in einer Entfernung, welche grösser als die doppelte Brennweite ist,

Fig. 247.



einen Gegenstand AB , z. B. eine Kerzenflamme. Man sieht auf einem hinter der Linse befindlichen Schirm bei gehöriger Stellung desselben das verkehrte und verkleinerte Bild ab jenseits des Brennpunktes.

Man kann das Bild auch durch Zeichnung finden, wenn die Lage und Grösse des Gegenstandes gegeben sind. Man zieht (Fig. 247) von den Grenzpunkten die Hauptstrahlen AM , BM und die zur Axe parallelen Strahlen; letztere schneiden nach ihrer Brechung zum Brennpunkte F die zugehörigen Hauptstrahlen in den Punkten a , b , welche die Bilder der betreffenden Grenzpunkte sind. Construiere die Bilder bei verschiedenen Abständen des Gegenstandes. Ist der Abstand des Gegenstandes $A'B'$ der doppelten Brennweite gleich, so findet man, dass das Bild $a'b'$ ebenso weit hinter der Linse liegt und dem Gegenstande an Grösse gleich ist.

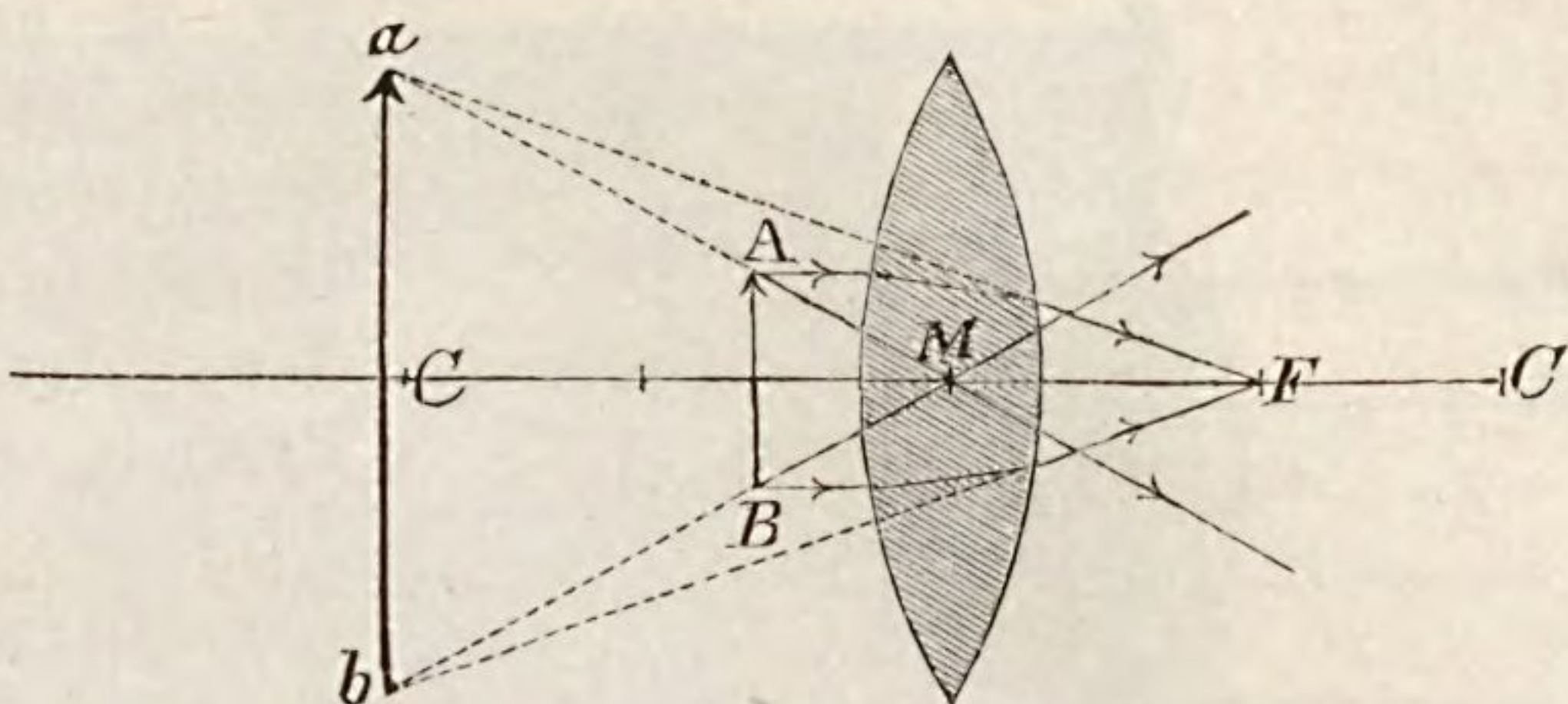
4. *Steht vor einer Convexlinse in einem Abstände, welcher grösser als die Brennweite ist, ein Gegenstand, so entsteht von diesem hinter der Linse jenseits des Brennpunktes ein verkehrtes Bild, welches dem Brennpunkte um so näher liegt und um so kleiner ist, je weiter der Gegenstand von der Linse absteht. Das Bild ist nur dann dem Gegenstande an Grösse gleich, wenn dieser der Linse bis auf die doppelte Brennweite genähert wird; bei weiterer Annäherung des Gegenstandes an die Linse wird das Bild grösser als jener.*

Versuch d). Ein Auge sehe durch eine Convexlinse gegen einen innerhalb der Brennweite befindlichen Gegenstand AB (Fig. 248); es sieht von demselben das aufrechte vergrösserte Bild ab jenseits des Brennpunktes. — Aus der Construction (Fig. 248) ist zu ersehen, dass in diesem Falle die Strahlen mit ihren betreffenden Hauptstrahlen nicht zum wirklichen Durchschnitte in a und b gelangen, sondern dass sie nach erfolgter Brechung nur derart aus der Linse treten, als kämen

sie vom Bilde ab . In diesem Falle entsteht also nur ein geometrisches Bild, während in den vorigen Fällen ein wirkliches Bild entstand, welches sich mit einem Schirme auffangen liess.

5. Befindet sich innerhalb der Brennweite einer Convexlinse ein Gegenstand, so entsteht von demselben vor der Linse ein geometrisches Bild, welches aufrecht und vergrössert ist und von der Linse weiter als der Gegenstand absteht.

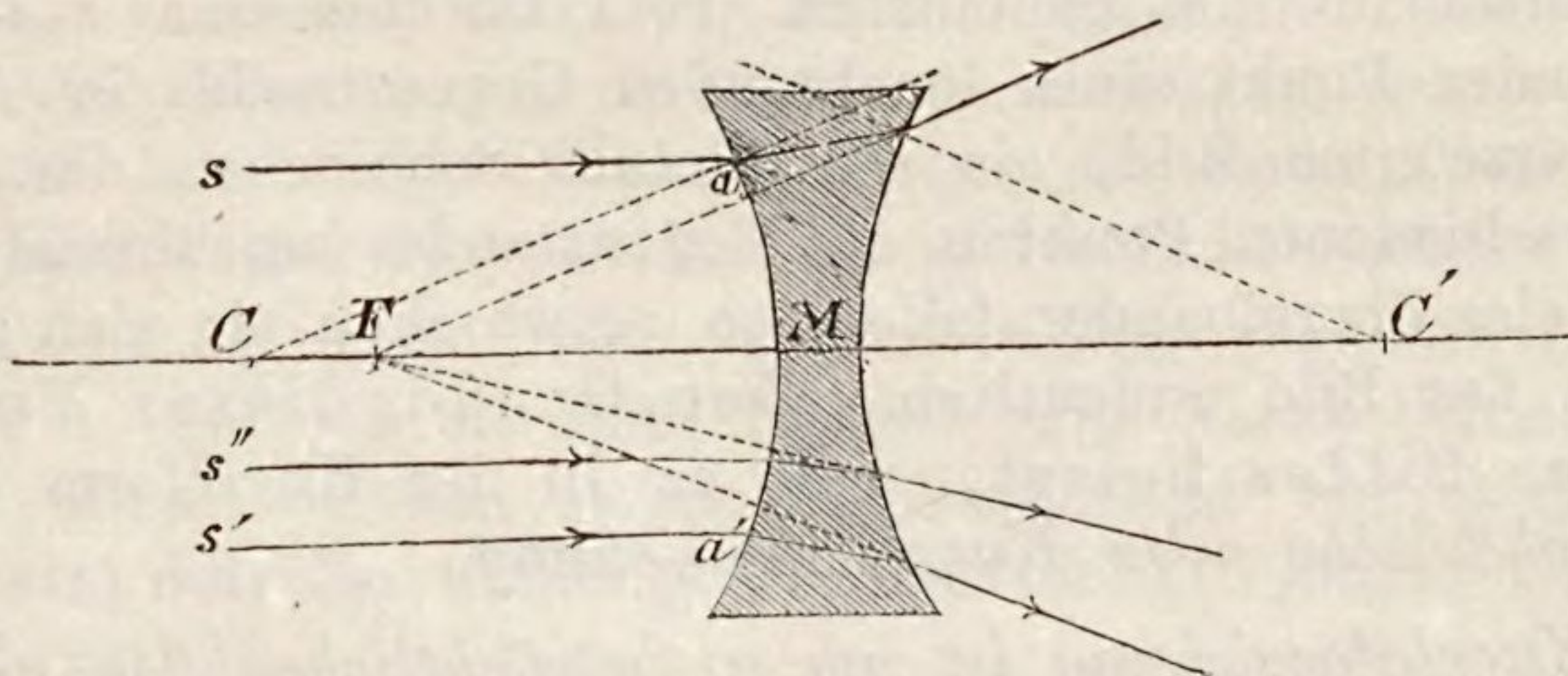
Fig. 248.



157. Concavlin sen. 1. Hauptstrahlen gehen durch Concavlin sen unebrochen durch; wovon man sich wie oben bei den Convexlin sen durch eine Zeichnung überzeugen kann.

Fallen auf eine Concavlin sen parallel zur Axe Strahlen auf, wie z. B. sa , $s'a'$ (Fig. 249), so werden dieselben in Folge der Brechung

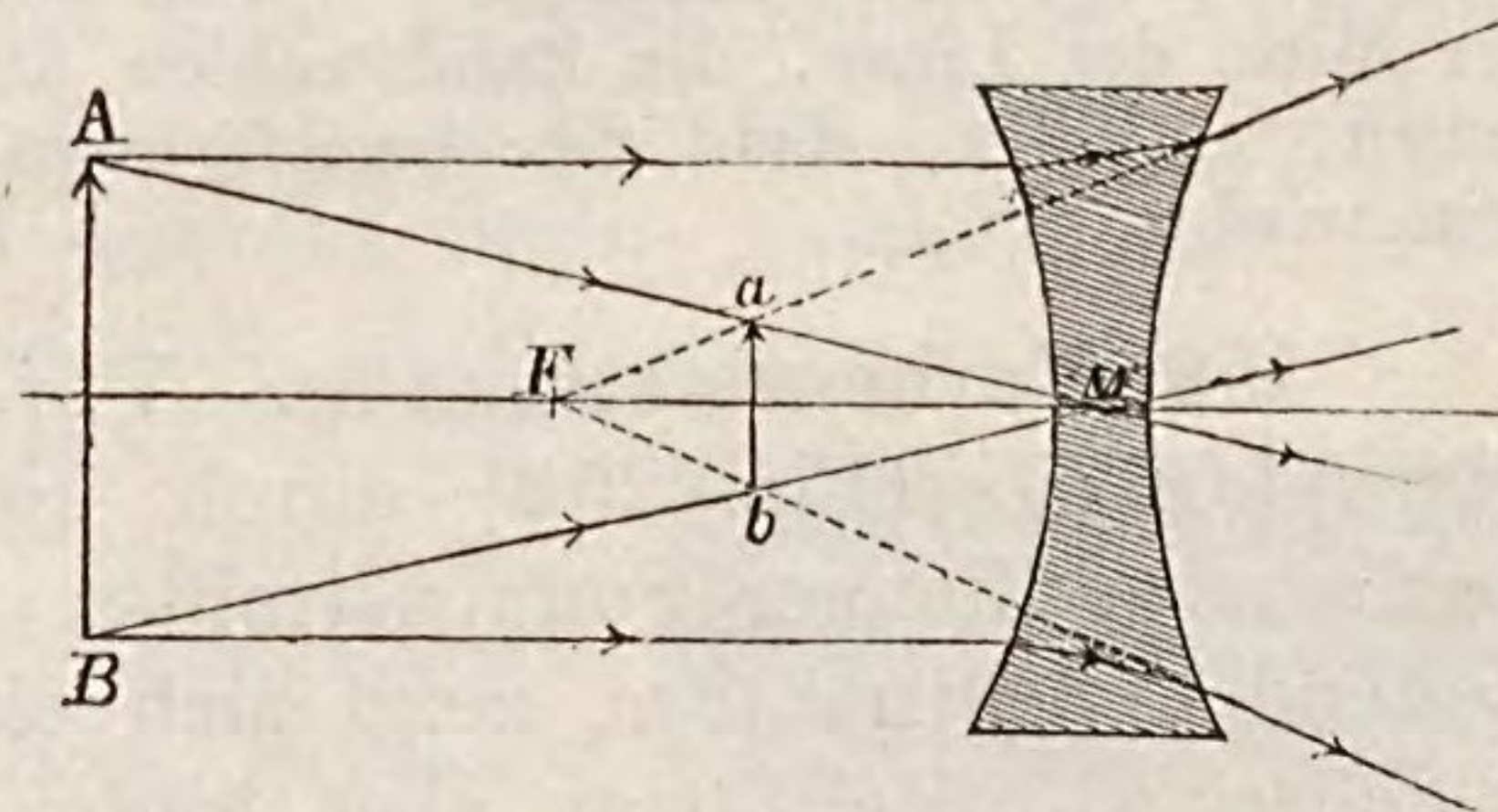
Fig. 249.



divergierend und treten so aus der Linse als ob sie von dem Punkte F kämen. Dieser Punkt F heisst ebenfalls Brennpunkt; derselbe ist aber nur ein geometrischer, weil sich in demselben die zur Axe parallelen Strahlen nach der Brechung nicht wirklich vereinigen.

2. Parallel zur Axe auffallende Strahlen treten aus einer Concavlin sen divergierend heraus, so als ob sie vom geometrischen Brennpunkte kämen. Die Concavlin sen heissen deshalb Zerstreulin sen.

Fig. 250.

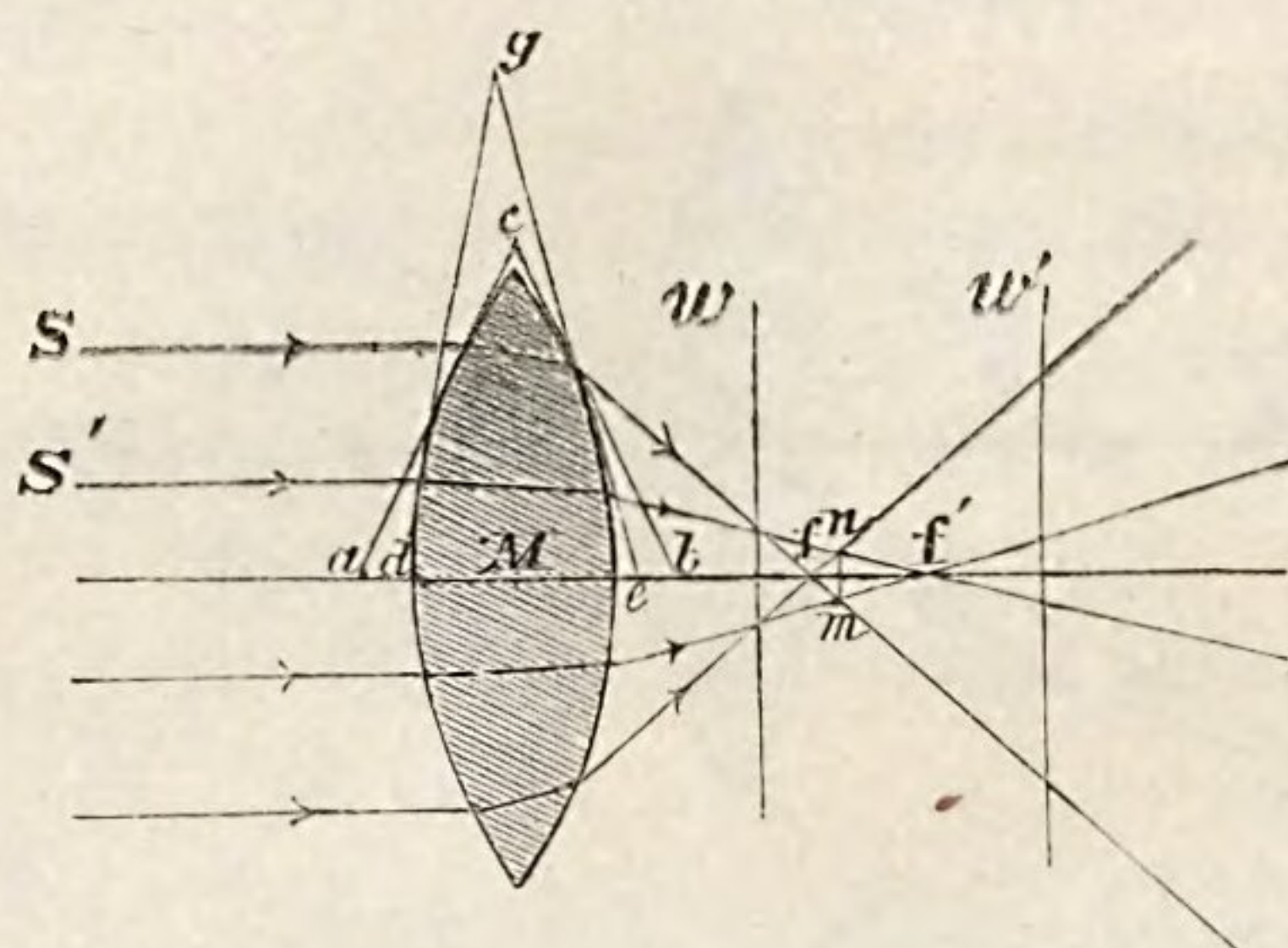


3. Fallen auf eine Concavlin sen Strahlen so auf, dass sie sich beim Nichtvorhandensein der Linse im Brennpunkte schneiden, so treten dieselben, wie Fig. 249 zeigt, parallel zur Axe aus der Linse.

4. Sieht man durch eine Zerstreulin sen auf einen Gegenstand (AB , Fig. 250), so erscheint das Bild (ab) desselben aufrecht, verkleinert und dem Auge näher gerückt.

158. Sphärische Abweichung. Legt man an die Eintritts- und Austrittspunkte der Sonnenstrahlen S, S' (Fig. 251) Ebenen, welche die Grenzflächen der Linse berühren, so ersieht man, dass der Strahl

Fig. 251.



S in der Linse so gebrochen wird als ob er durch das Prisma abc ginge, und dass die Brechung des Strahles S' so erfolgt wie beim Durchgange durch das Prisma dge . Weil der brechende Winkel des Prismas abc grösser als jener von dge ist, so ergibt sich, dass die *Randstrahlen*, welche wie S in grösserer Entfernung von der Axe auf die Linse fallen, *stärker gebrochen* und daher *näher an der*

Linse, z. B. in f , *vereinigt werden als die Centralstrahlen*, welche wie S' nahe bei der Axe auffallen und im Punkte f' vereinigt werden. Fängt man daher die austretenden Strahlen mittelst eines Schirmes w oder w' auf, so muss sich das Bild der Sonne als ein Scheibchen darstellen, welches am kleinsten ausfällt, wenn der Schirm in mn aufgestellt ist, denn hier erscheint das Scheibchen vom Durchmesser mn . Ebenso stellt sich jeder Punkt eines leuchtenden Gegenstandes in dem durch eine Linse erzeugten Bilde als ein kleines Scheibchen dar. Da nun die von verschiedenen Punkten des Gegenstandes herrührenden Scheibchen theilweise übereinander fallen, so verwaschen sie sich gegenseitig und machen das Bild undeutlich. Der Grund dieser Verundeutlichung des Bildes heisst, weil er in der Kugelform der Linse liegt, die *sphärische oder Kugel-Abweichung*.

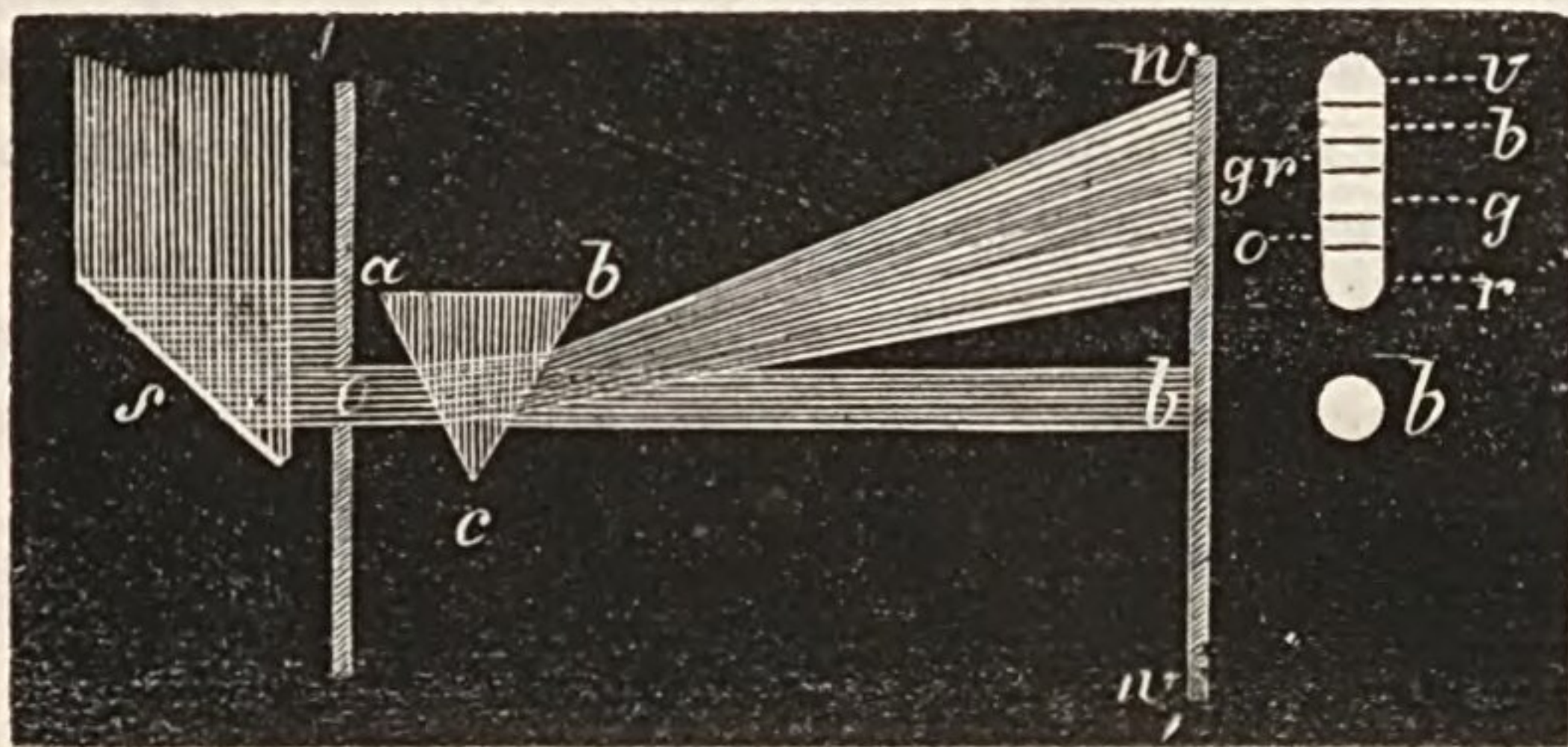
Die Kugelabweichung ist um so beträchtlicher, je grösser die Öffnung der Linse ist und je stärker die Grenzflächen der Linse gekrümmt sind oder je kleiner die Brennweite ist.

Man kann die Kugelabweichung vermindern, wenn man durch eine Blendung (Diaphragma), d. i. durch undurchsichtige geschwärmte Ringe die Öffnung der Linse verkleinert und so die Randstrahlen abhält. Durch eine entsprechende Wahl der Krümmungs-Halbmesser lässt sich die sphärische Abweichung verschwindend klein machen. — Weil am Rande mehr Strahlen auffallen als in der Mitte der Linse, die Randstrahlen aber durch m und n (Fig. 251) durchgehen, so folgt, dass das kreisförmige Bildchen mn am Rande am hellsten sein wird.

159. Farbenzerstreuung. Versuch *a*). Man leite mittelst eines Planspiegels s (Fig. 252) durch eine sehr kleine Öffnung o in das verfinsterte Zimmer Sonnenstrahlen; auf dem in ziemlicher Entfernung stehenden Schirm ww , zeigt sich ein weisses kreisrundes Sonnenbildchen b . Stellt man aber hinter die Öffnung ein reines Glasprisma abc , so dass es den brechenden Winkel nach abwärts kehrt, so verschwindet das weisse Sonnenbild b und es entsteht oberhalb b ein farbiges Bild. Dieses Farbenbild, welches *Sonnenspectrum* oder kurz *Spectrum* genannt wird, ist länglicht, links und rechts von geraden, oben und unten von Kreislinien begrenzt; die Breite

desselben ist dem Durchmesser des Sonnenbildchens gleich, welches früher bei *b* entstanden war. Ferner zeigt das Spectrum die sechs Regenbogen-, Spectral- oder prismatischen Farben: roth (*r*), orange

Fig. 252.



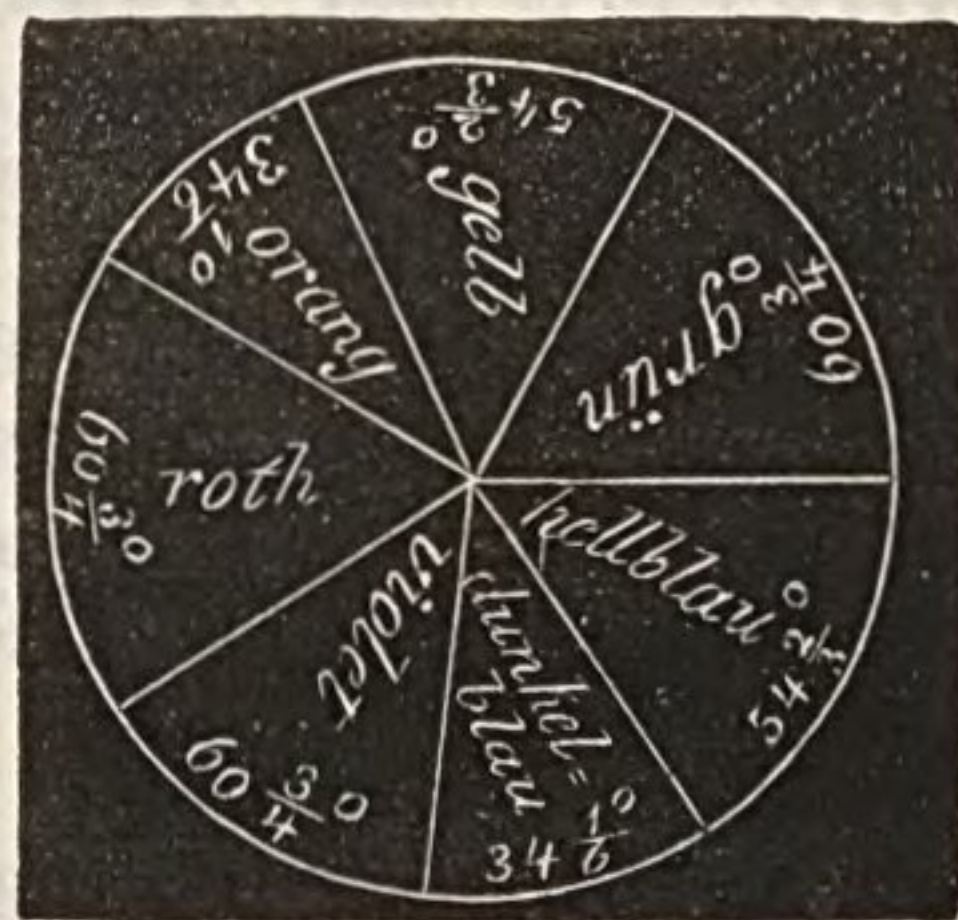
(*o*), gelb (*g*), grün (*gr*), blau (*b*) und violett (*v*) in der aus der Figur ersichtlichen Reihenfolge. Diese Farben nehmen jedoch im Spectrum keine gleichen Räume ein; auch sind sie von einander nicht scharf abgegrenzt, indem jede Farbengattung unmerklich in die benachbarte übergeht; insbesondere lassen sich im blau zwei Abstufungen, dunkel- und hellblau deutlich unterscheiden. — Man sieht die Spectralfarben auch, wenn man durch ein Prisma gegen eine Flamme sieht. — Man stelle den Versuch mit Prismen aus derselben Glassorte aber von verschiedenen brechenden Winkeln, ferner mit einem Kron- und einem Flintglas- (bleihaltiges Glas) Prisma von gleichem brechenden Winkel an.

Versuch *b*). Macht man in dem Schirm, welcher das Spectrum auffängt, z. B. dort wo das Roth hinfällt, eine kleine Öffnung und lässt den durch diese Öffnung gehenden Strahl auf ein zweites Prisma fallen, so wird derselbe wieder gebrochen, behält jedoch seine Farbe unverändert bei.

Versuch *c*). Lässt man die aus dem Prisma austretenden farbigen Strahlen auf eine Sammellinse fallen, so erscheint auf dem in entsprechender Entfernung hinter der Linse aufgestellten Schirme wieder ein weisses Sonnenbildchen.

Versuch *d*). Bekanntlich sieht man einen feurigen Kreis, wenn man eine glühende Kohle im Kreise schnell herumschwingt. Diess erklärt sich aus dem Umstande, dass jeder Lichteindruck in unserem Auge eine gewisse Zeit andauert, so dass ein leuchtender Punkt, welcher z. B. 11mal in 1 Secunde ein und dieselbe Stelle passiert, uns fortwährend an dieser Stelle zu sein scheint. Wenn man nun eine Scheibe in Sektoren theilt (Fig. 253), deren Flächen sich zu einander so verhalten wie die Räume, welche die einzelnen Regenbogenfarben im Spectrum einnehmen, diese Sektoren mit möglichst reinen Farbstoffen, welche den betreffenden Hauptfarben des Spectrums entsprechen, bemalt und die Scheibe dann in schnelle Drehung versetzt, so erscheint die Scheibe weiss, weil alle Farben sehr schnell nach einander an einer und derselben Stelle auftreten und weil desshalb ihre Eindrücke im

Fig. 253.



Auge zusammenfallen. — Die Scheibe erscheint eigentlich schmutzig weiss, weil die Farbstoffe nicht so rein wie die Farben des Spectrums sind.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen ergeben sich folgende Gesetze:

1. *Das weisse Licht ist aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt, in welche es durch Brechung zerlegt werden kann. Die Zerlegung des weissen Lichtes in seine farbigen Bestandtheile heisst Farbenzerstreuung.*

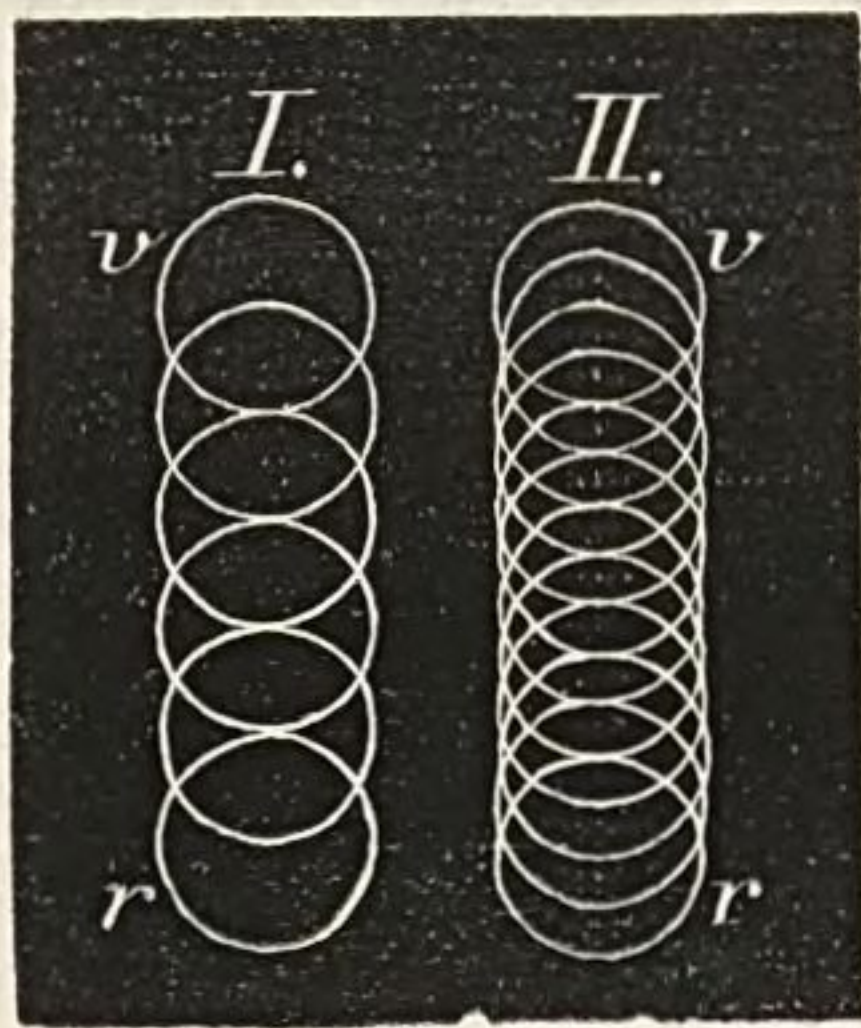
2. *Die verschiedenfarbigen Strahlen des Spectrums lassen sich durch Brechung nicht weiter zerlegen, sind also einfaches Licht; sie unterscheiden sich aber von einander durch ihre verschiedene Brechbarkeit, indem die violetten am stärksten, die rothen Strahlen am wenigsten brechbar sind.*

3. *Die prismatischen Farben geben mit einander vereinigt weiss.*

4. *Die Länge $r v$ des Spectrums hängt bei sonst gleichen Umständen ab: a) von der Grösse des brechenden Winkels; b) von dem Stoffe, aus welchem das Prisma besteht; so liefert bei gleichem brechenden Winkel ein Prisma aus Flintglas ein längeres Spectrum als ein Kronglasprisma.*

Diese Gesetze hat Newton gefunden. — Das weisse Licht besteht nicht aus nur sechs, sondern aus unzählig vielen Strahlengattungen, wovon jede ihre eigene Brechbarkeit hat und ihr eigenes Sonnenbildchen erzeugt. Aus dem theilweisen Übereinanderfallen der verschiedenfarbigen Sonnenbildchen erklären sich sowohl die Farbenübergänge als auch die Begrenzungen des Spectrums. Bestünde das Spectrum aus nur sechs farbigen Sonnenbildchen, so müsste es seitlich kreisförmig begrenzte Einschnitte haben, wie diess I. Fig. 254

Fig. 254.



zeigt. Bei Annahme einer grösseren Anzahl von Sonnenbildchen verschwinden die seitlichen Einschnitte und es entsteht eine geradlinige Begrenzung. (Vgl. II. Fig. 254). — So wie bei den Tönen die Höhe von der Schwingungszahl des tönenden Körpers abhängig ist, ebenso hängt die Farbe des Lichtes von der Anzahl der Schwingungen ab, welche die Äthertheilchen in einer Secunde machen. Den violetten Strahlen entspricht die grösste, den rothen die kleinste Schwingungszahl.

Nicht bloss die Strahlen der Sonne, sondern auch jene anderer Lichtquellen liefern Spectra; diese unterscheiden sich aber sowohl untereinander als auch vom Sonnenspectrum, so z. B. durch das Vorherrschen einer gewissen Farbengattung, durch das Vorhandensein gewisser heller und dunkler Linien. Fraunhofer (1820) hat gefunden, dass auch im Sonnenspectrum eine sehr grosse Zahl dunkler Linien, welche senkrecht auf die Längenrichtung des Spectrums stehen, vorhanden ist. In neuester Zeit (1860) haben die deutschen Physiker Kirchhoff und Bunsen die Entdeckung gemacht, dass verschiedene Stoffe, z. B. Natrium, Lithium u. s. w. in eine Flamme gebracht, gewisse charakteristische Linien erzeugen, aus deren Vorhandensein man auf die Gegenwart jener Stoffe zurückschliessen kann. So erzeugt z. B. Natrium eine intensiv gelbe, Lithium eine rothe Linie. — Gegenstände erscheinen durch ein Prisma betrachtet mit farbigen Rändern umsäumt. Man mache auf weissem Grunde in einer Geraden neben einander einen rothen, grünen und blauen Punkt und sehe diese Punkte durch ein Prisma an; warum erscheinen die Punkte nicht in einer Geraden? (Vgl. 2.)

160. Mischungs- und Ergänzungsfarben. Natürliche Farben der Körper. Versuch a). Man fange mit einem nahe hinter dem

Prisma aufgestellten Schirm einen Theil des Sonnenspectrums, z. B. das rothe Ende auf und lasse die übrigen Strahlen durch eine Sammellinse gehen; man sieht auf einem zweiten in passender Entfernung aufgestellten Schirm ein rundes grünes Sonnenbild. Hält man grün ab, so entsteht ein rothes Sonnenbild. Das farbige Sonnenbild wird weiss, wenn den früher abgehaltenen Strahlen der Durchgang durch die Linse gestattet wird. Versuche mit dem Farbenkreisel.

Durch Vereinigung einiger einfachen Farben des Spectrums erhält man die gemischten Farben. Auch kann man durch Verbindung zweier entsprechenden Farben weiss erzeugen. Zwei Farben, welche einander zu weiss ergänzen, heissen complementäre oder Ergänzungsfarben; solche sind z. B. roth und grün, orange und blau, gelb und violett.

Die Mischfarben lassen sich durch ein Prisma wieder in ihre Bestandfarben zerlegen. — Mischt man zwei Farbestoffe, so liefern sie nicht dieselbe Farbe, welche durch Vereinigung der zwei gleichen Farben des Spectrums entsteht, weil die Farbestoffe den Spectralfarben an Reinheit nachstehen.

Versuch b). Lasse auf eine hellrothe Fläche Sonnenstrahlen fallen, und halte ein weisses Papier in die Nähe; die der rothen Fläche zugekehrte Seite des weissen Papiers erscheint geröthet. — Beim gelben Lichte einer Weingeistflamme, deren Docht mit Kochsalz stark eingerieben ist, erscheint ein weisses Papier gelb; farbige Gegenstände, z. B. bunte Blumen zeigen aber eine auffällige Veränderung ihrer Farben. Grün und blau zeigen sich grau, roth fast schwärzlich, gelb aber bleibt unverändert. — Ein rothes Glas zeigt sich im reflectierten und durchgelassenen Lichte roth; das Knochen- oder Milchglas erscheint im reflectierten Lichte bläulich weiss, im durchgelassenen aber roth.

Die einzelnen farbigen Lichtgattungen werden von den verschiedenen Körpern nicht im gleichen Maasse zurückgeworfen und durchgelassen. Wirft ein Körper alle im Sonnenlichte enthaltenen Strahlen nahezu in gleichem Verhältnisse zurück, so erscheint uns derselbe im Tageslichte weiss. Lässt ein durchsichtiger Körper alle Strahlengattungen fast gleichmässig durch, so ist er wasserhell. Verschluckt aber ein Körper fast alles auffallende Licht, so erscheint er uns schwarz. Ein Körper zeigt sich im Tageslichte farbig, wenn er eine oder auch nur einige Strahlengattungen vorzugsweise zurückwirft und die andere entweder verschluckt oder durchlässt. Die Farben, welche ein Körper im Tageslichte zeigt, heissen die natürlichen (objectiven) Farben.

Die meisten Körper zeigen dieselben Farben im reflectierten und durchgelassenen Lichte; so z. B. rothes, blaues Glas, indem das erstere die rothen, letzteres die blauen Strahlen vorzugsweise zurückwirft und durchlässt. Manche Körper reflectieren hauptsächlich die eine Strahlengattung, während sie insbesondere die Strahlen von complementärer Farbe durchlassen. So zeigt sich eine ziemlich dicke Schichte einer Auflösung von Saftgrün im reflectierten Lichte grün, im durchgelassenen aber dunkelroth.

An den Körpern sind oft noch manche andere Farbenerscheinungen zu beobachten, welche in besonderen Umständen ihren Grund haben. Hierher gehören z. B. die Farben, welche im Sonnenlichte an Seifenblasen, dünnen

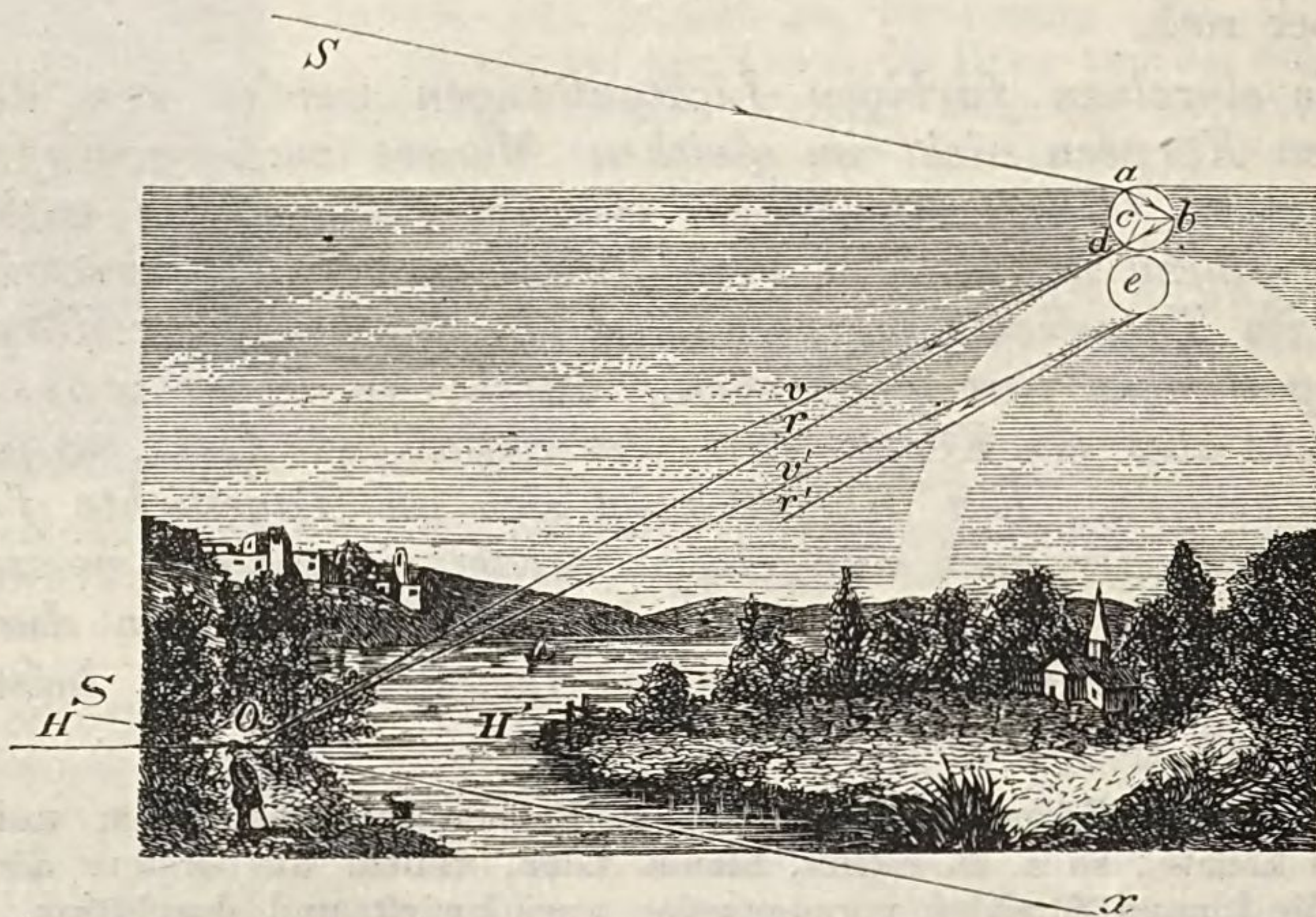
Plättchen zu sehen sind, ferner die Farben, welche man wahrnimmt, wenn man durch eine sehr feine Öffnung, durch ein feines Gitter gegen eine Lichtquelle sieht, oder mit welchen undurchsichtige Körper z. B. die Spinnenfäden, die feinen Haare an unseren Kleidern im Sonnenlichte eingesäumt erscheinen.

Die Lufttheilchen vermögen vorzugsweise die blauen Strahlen zu reflectieren. Auf dieser Eigenschaft der Luft beruht die *blaue Färbung des Himmels*; denn das blaue Firmament ist nichts anderes als die durch das reflectierte blaue Licht sichtbar gewordene Luft. Aus gleichem Grunde erscheinen ferne Berge und Wälder bläulich. Da die in der Luft enthaltenen Nebelbläschen, Staub- und Rauchtheilchen weisses Licht reflectieren, so geht bei unreiner Luft die blaue Färbung ins weissliche und graue über. Warum erscheint nach einem Regen der Himmel oft schön dunkelblau? — Ist der Wasserdunst ziemlich stark condensiert, so vermag er vorzugsweise die rothen und gelben Strahlen durchzulassen. Hieraus erklärt sich das Entstehen der *Morgen- und Abendröthe*, die rothgelbe Färbung der Sonnenscheibe an nebligen Tagen.

161. Der Regenbogen gehört wohl zu den schönsten Erscheinungen der Natur. Derselbe zeigt sich bekanntlich, wenn wir vor uns eine Regenwolke und hinter uns die Sonne haben, und zwar erscheint er in seiner vollen Entwicklung als ein kreisförmiger Bogen, welcher bald grösser, bald kleiner und mit den prismatischen Farben in der Weise geschmückt ist, dass das Violett unten, das Roth aber oben sich befindet. Mitunter ist noch ein zweiter Bogen, der sogenannte Nebenregenbogen sichtbar. Derselbe ist mit dem Hauptregenbogen concentrisch, grösser, aber lichtschwächer als dieser; auch folgen in ihm die Farben in umgekehrter Ordnung aufeinander. Manchmal ist nur ein Stück eines Regenbogens, d. i. eine Regengalle zu sehen.

Um die Entstehung des Regenbogens klar zu machen sei *Sa* (Fig. 255) ein Sonnenstrahl, welcher auf den Regentropfen *c* auffällt. Dieser Strahl wird

Fig. 255.



im Regentropfen bei *a* zum Einfallslothe *ac* nach *ab* gebrochen; bei *b* wird ein Theil des Lichtes nach *bd* reflectiert und bei *d* erfährt der austretende Strahl wieder eine Brechung vom Einfallslothe *cd*. Da nun mit jeder Brechung eine Farbenzerstreuung verbunden ist, so treten bei *d* alle Strahlen des Spectrums heraus, der rothe *r* z. B. in der Richtung *dO*, der violette Strahl *v* in der Richtung *d v*. Ist nun *O* das Auge eines Beobachters, so wird dieses wohl von den rothen, nicht aber von den anderen Strahlen getroffen. Zieht man von *O* eine Gerade

parallel zu dv , so trifft dieselbe auf einen Regentropfen e , von welchem nur die violetten Strahlen v' in's Auge des Beobachters gelangen. Denkt man sich ferner durch O die $Sx \parallel Sa$ gezogen, r und v' um Sx gedreht, so dass die Winkel rOx und $v'Ox$ immer gleich bleiben, so beschreiben die Punkte d und e auf der Regenwolke Kreise, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt in der Geraden Ox liegt. Im Umfange des von d beschriebenen Kreises liegen die Regentropfen, welche dem Auge O rothe Strahlen zusenden, während in dem von e beschriebenen Kreise jene Regentropfen liegen, von welchen nur violette Strahlen in's Auge O gelangen. Der erstere Kreis wird daher dem in O befindlichen Beobachter roth, der letztere violett erscheinen; zwischen beiden befinden sich die Bögen der übrigen Spectralfarben. Aus dem Gesagten folgt, dass der Regenbogen ein Theil eines Kreisringes ist, dessen Mittelpunkt in einer durch das Centrum der Sonne und das Auge des Beobachters gehenden Geraden liegt. Die Lage des Regenbogens muss sich demnach ändern, wenn die Sonne oder der Beobachter einen andern Stand hat; wesshalb verschiedene Beobachter nicht denselben, sondern verschiedene Regenbogen sehen. Ist die Gerade HH' horizontal, so stellt der Winkel $SOH = H'Ox$ die Erhebung der Sonne über den Horizont, d. i. die Sonnenhöhe vor und man ersieht, dass durch den Winkel $dOH' = d\hat{O}x - H'\hat{O}x$ die Höhe des Regenbogens bestimmt wird. Da aber, wie anderweitig gefunden worden ist, die in's Auge gelangenden rothen Strahlen mit Ox einen Winkel von etwa 42° bilden, so ist die Höhe des Regenbogens $d\hat{O}H' = 42^\circ - H'\hat{O}x$, folglich der Regenbogen um so grösser, je niedriger die Sonne steht.

Der Nebenregenbogen wird von Sonnenstrahlen gebildet, welche den Tropfen unten treffen, eine zweimalige Brechung, nämlich beim Eintritt in den Tropfen und beim Austritt aus demselben, und im Innern des Tropfens eine zweimalige Reflexion erleiden. In Fig. 256 ist Sa der einfallende Strahl, welcher in den Richtungen $abcd$ durch das Innere des Tropfens geht und dann in der Richtung dO austritt. Da das Licht bei jeder Reflexion und Brechung geschwächt wird, so ist ersichtlich, dass der Nebenregenbogen lichtschwächer sein muss als der Hauptregenbogen. — Bei Wasserfällen und Springbrunnen sieht man bisweilen einen vollständigen Kreis mit den Regenbogenfarben.

Fig. 256.

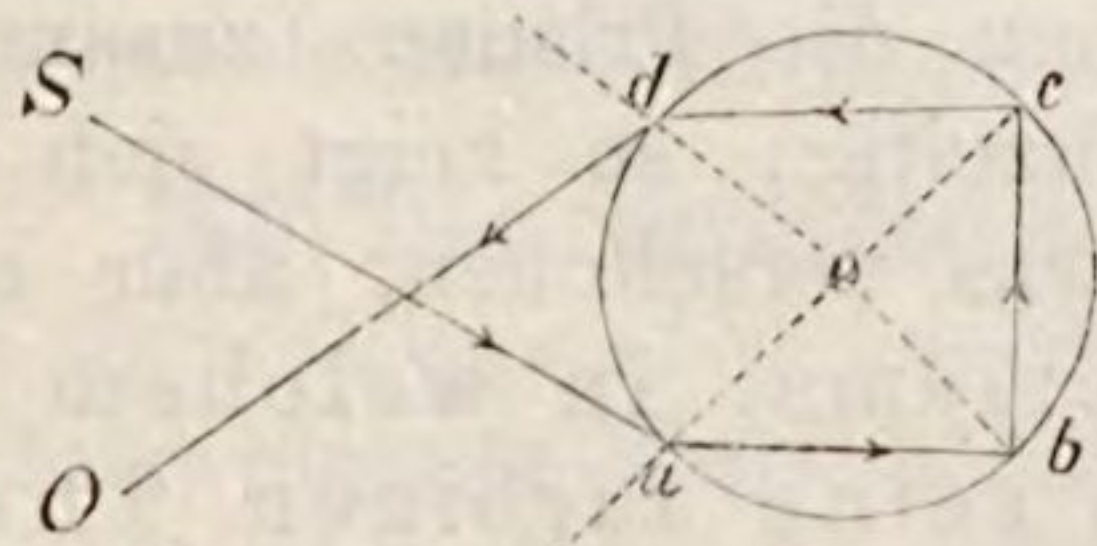
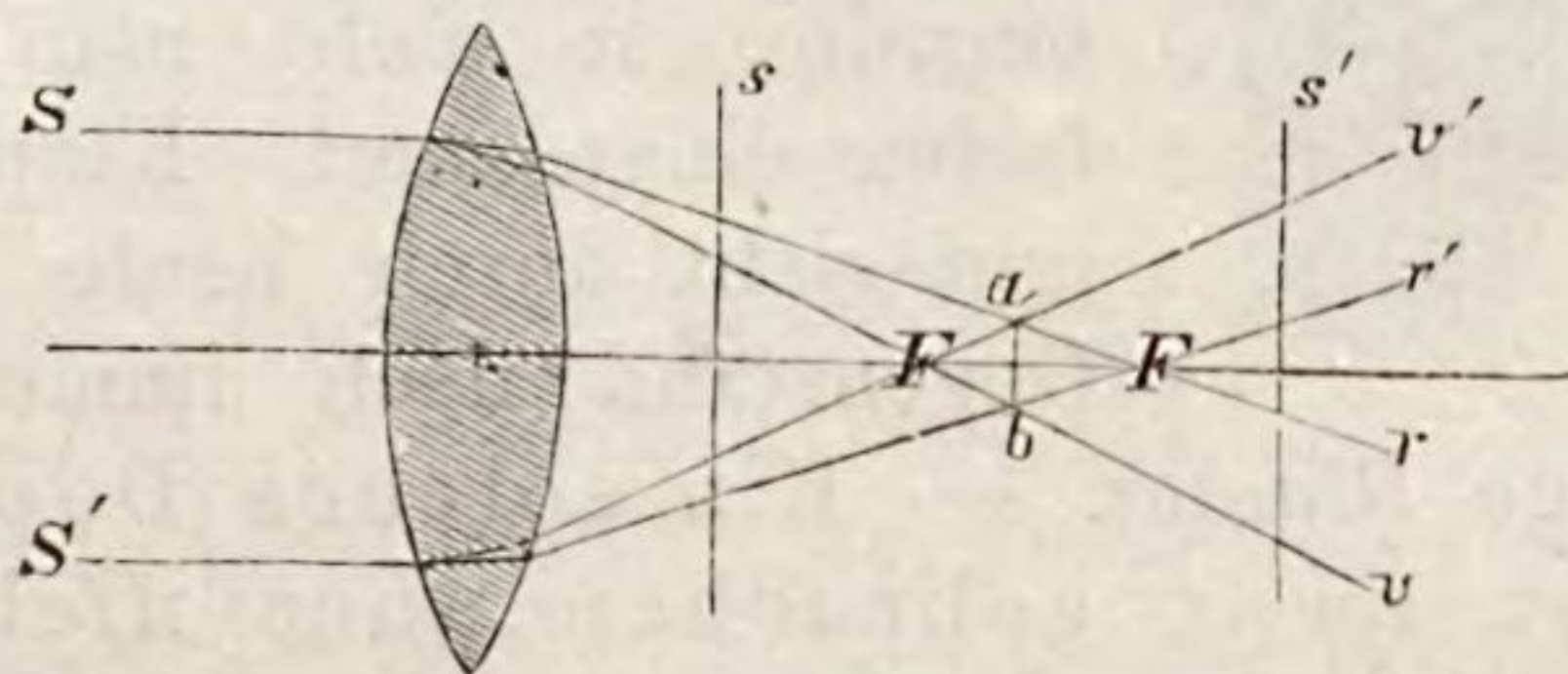


Fig. 257.

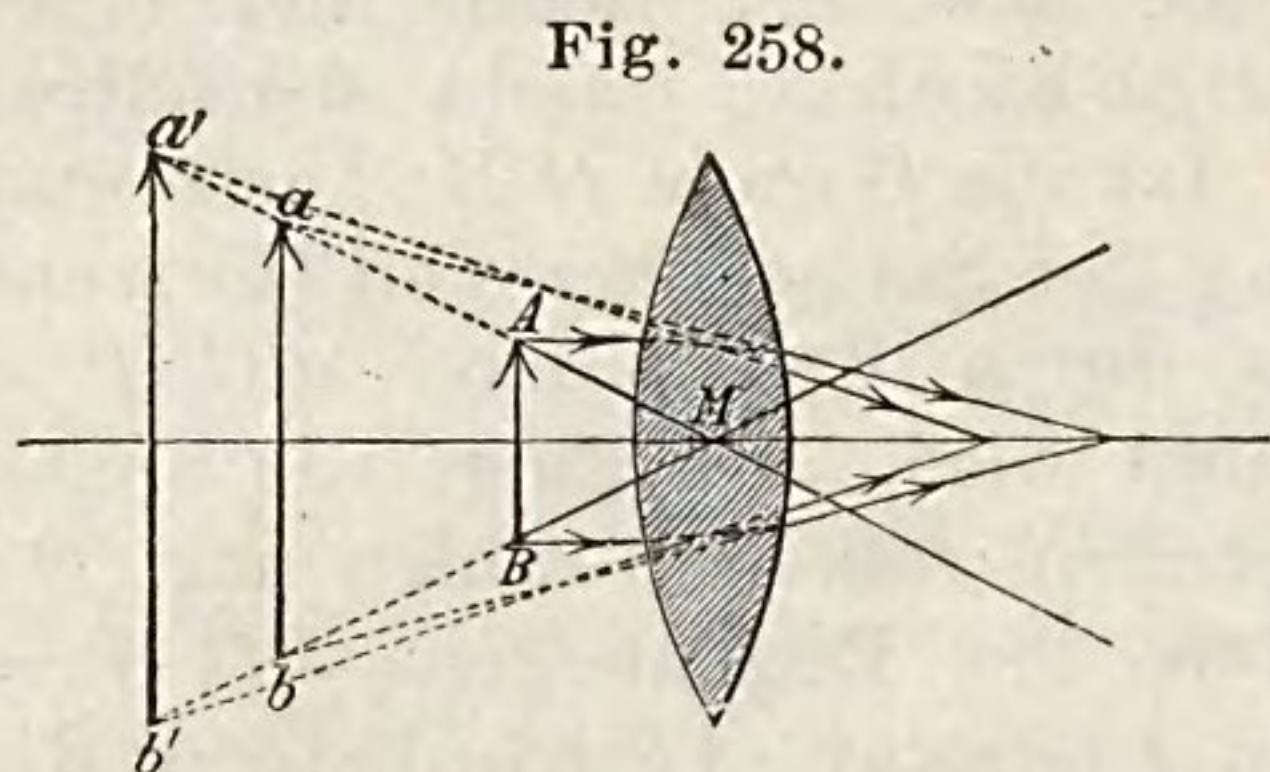


162. Chromatische Abweichung. Achromatismus. Versuch a), Lässt man auf eine Linse (Fig. 257) weisse Sonnenstrahlen S, S' fallen, so sieht man auf einem in entsprechender Entfernung hinter der Linse aufgestellten Schirm ein weisses Sonnenbildchen, welches an den Rändern roth oder blau violett eingesäumt ist, je nachdem man den Schirm der Linse z. B. bis nach s nähert, oder ihn von der Linse, z. B. bis nach s' entfernt.

Die auf die Linse auffallenden weissen Strahlen SS' werden in der Linse gebrochen und in ihre farbigen Bestandtheile zerlegt. Da aber die violetten Strahlen v stärker als die rothen r gebrochen werden, so werden auch die ersteren früher als die letzteren, z. B. in F vereinigt, während der Vereinigungspunkt der letzteren F' ist. Die übrigen farbigen Strahlen werden zwischen F und F' , die gelben etwa in der Mitte von FF' vereinigt. Aus diesem Grunde erscheint ein leuchtender Punkt nicht als ein Punkt, sondern als ein rundes Scheibchen, welches

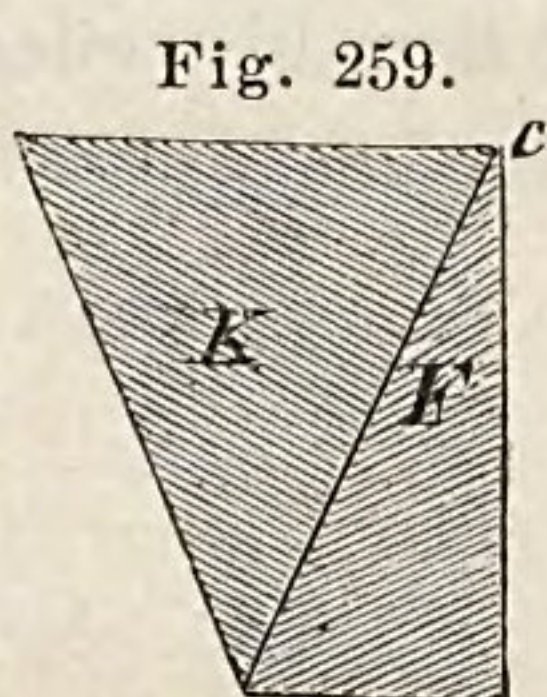
in der Mitte weiss, an den Rändern farbig ist und den kleinsten Durchmesser ab hat, wenn der das Scheibchen auffangende Schirm in ab steht. Da nun ein leuchtender Gegenstand aus unzählig vielen leuchtenden Punkten besteht, wovon jeder als ein Scheibchen erscheint, so fallen die Bilder der einzelnen Punkte theilweise übereinander, verundeutlichen sich und daher auch das Bild des Gegenstandes. Die Verundeutlichung eines durch eine Linse erzeugten Bildes, welche in der Farbenzerstreuung ihren Grund hat, heisst *chromatische* (von *chroma* = Farbe) *Abweichung*.

Sieht man durch eine Linse gegen eine weisse Linie AB (Fig. 258) auf schwarzem Grunde, welche z. B. innerhalb der Brennweite sich befindet, so erscheint dieselbe in der Mitte weiss, an den Rändern bläulich violett. Die Brennweite für die violetten Strahlen ist kleiner als jene für die rothen; daher ist das von den violetten Strahlen erzeugte Bild $a'b'$ weiter vor der Linse und grösser als das von den rothen Strahlen herührende ab ; zwischen beide fallen der Lage und Grösse nach die farbigen Bilder, welche



den anderen Strahlen entsprechen. Während von den violetten und blauen Bildern die anderen überragt werden, decken sich die mittleren Theile der verschiedenen Bilder, so dass das Gesamtbild in der Mitte weiss, an den Rändern aber blau-violett erscheint.

Versuch *b*). Ein Prisma K (Fig. 259) aus Kronglas und ein Prisma F aus Flintglas, dessen brechender Winkel nahezu zweimal



kleiner als jener von K ist, seien bei c mit einander durch ein Scharnier verbunden. Blickt man gegen einen hellen Gegenstand, z. B. gegen ein Fenster durch jedes Prisma einzeln, so sieht man den Gegenstand verrückt und farbig eingesäumt. Klappt man die Prismen zusammen und sieht durch beide gleichzeitig, so zeigt sich der Gegenstand noch immer etwas verschoben, aber ohne farbige Ränder. — Ein solches Doppelprisma, in welchem das Licht zwar gebrochen aber nicht in seine farbigen Theile zerlegt wird, heisst ein *achromatisches Prisma*.

Um in den Vorgang der Brechung in einem derartigen Doppelprisma Einsicht zu gewinnen, hat man sich gegenwärtig zu halten, dass die Bestandprismen das Licht in entgegengesetztem Sinne brechen und zerstreuen, weil ihre brechenden Winkel nach entgegengesetzten Seiten gekehrt sind. Weil nun das Flintglas das Licht nahezu doppelt so stark zerstreut als ein Kronglasprisma von demselben brechenden Winkel und weil die Farbenzerstreuung bei demselben Materiale mit dem brechenden Winkel zu- und abnimmt (vgl. §. 159), so braucht der brechende Winkel vom Flintglasprisma F etwa nur die Hälfte von jenem des Kronglasprismas K zu sein, um die in K erzeugte Farbenzerstreuung aufzuheben. Da aber im Flintglas das Licht fast ebenso stark wie im Kronglas gebrochen wird, so wird die Brechung in dem Prisma K wegen des grösseren brechenden Winkels grösser als die entgegengesetzte in F sein. Ein durch beide Prismen gehender Strahl wird daher wohl von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, aber nicht in seine farbigen Bestandstrahlen zerstreut werden.

Sammel- und Zerstreungslinsen brechen und zerstreuen das Licht in entgegengesetztem Sinne, sowie zwei Prismen, deren brechende Winkel entgegengesetzte Lage haben; es ist daher möglich, durch die

Verbindung einer Sammellinse K (Fig. 260) aus Kronglas und einer Zerstreuungslinse F aus Flintglas eine *achromatische Linse* d. i. eine von der chromatischen Abweichung freie Linse herzustellen. Eine derartige zusammengesetzte Linse wirkt als Sammel- oder als Zerstreuungslinse, je nachdem die Brennweite der Convex- oder jene der Concavlinse die kleinere ist; im übrigen hat die Linsenverbindung eine grössere Brennweite als jede der Bestandlinsen.

Fig. 260.

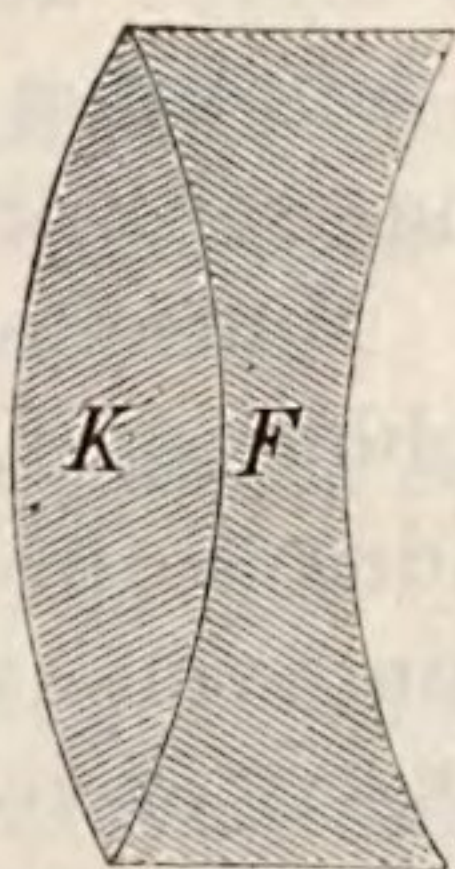


Fig. 261.

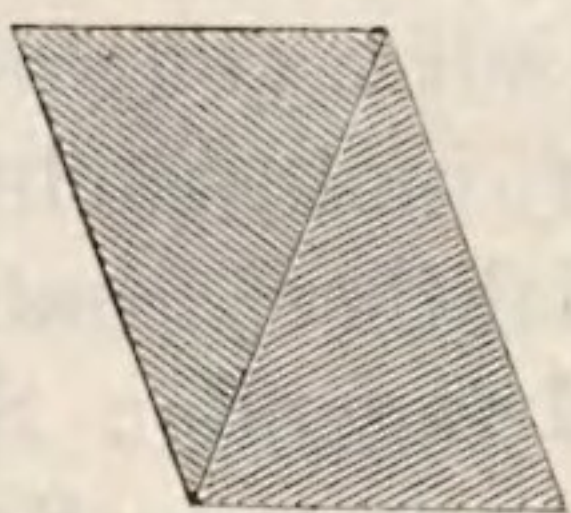
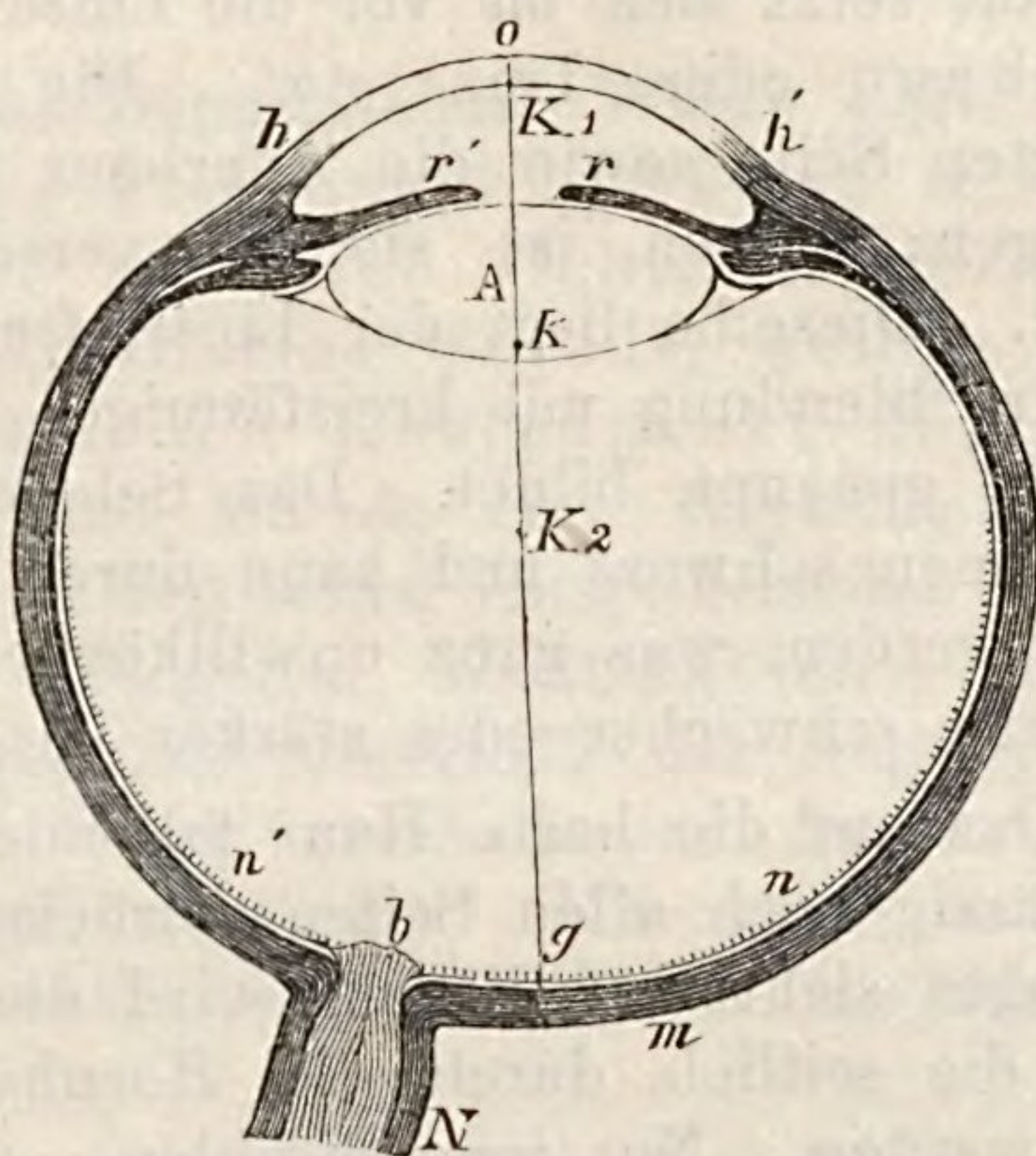


Fig. 262.



Wenn zwei Kronglasprismen von gleichen brechenden Winkeln so verbunden werden wie es Fig. 261 zeigt; wird der austretende Strahl von der ursprünglichen Richtung abgelenkt und farbig sein? — Es ist übrigens zu bemerken, dass die chromatische Abweichung bei Linsen sich nie vollkommen aufheben lässt. — Dollond in England verfertigte die ersten achromatischen Linsen 1757; der Deutsche Hell soll aber bereits 1733 achromatische Fernrohre ausgeführt haben.

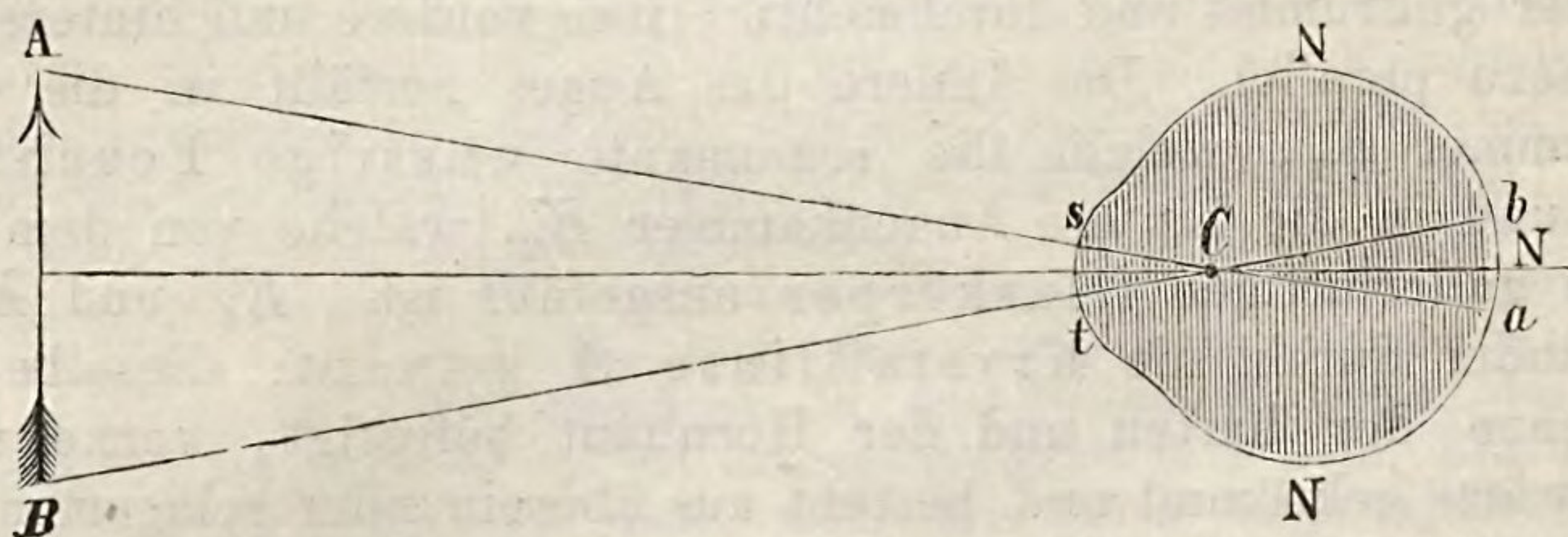
163. Das menschliche Auge. Das Auge (Fig. 262) besteht zunächst aus dem Augapfel, welcher in der Augenhöhle eingeschlossen ist und mittelst eigener Muskeln bewegt werden kann. Derselbe ist eine nahezu kugelförmige Kapsel, welche von der harten Haut $h m h'$ (in der Figur schattiert) und von der Hornhaut $h o h'$ gebildet wird. Die harte Haut ist undurchsichtig und ihr vorderer Theil wird zwischen den Augenlidern als „das Weisse des Auges“ gesehen. Die Hornhaut ist stärker gekrümmt und durchsichtig; ihre vordere und hintere Fläche sind nahezu parallel. Das Innere des Auges zerfällt in die vordere Augenkammer K_1 , welche die sogenannte wässrige Feuchtigkeit enthält, und in die hintere Augenkammer K_2 , welche von dem durchsichtigen gallertartigen Glaskörper ausgefüllt ist. K_1 und K_2 sind von einander durch die Krystalllinse A getrennt; dieselbe ist an der Grenze der harten und der Hornhaut befestigt, vorne weniger als rückwärts gekrümmt und besteht aus übereinander gelagerten durchsichtigen Schichten, deren Form von der Kugelgestalt einigermaßen abweicht. Die harte Haut ist an der Stelle b durchbrochen; hier tritt der aus sehr vielen Fasern bestehende Sehnerv N in das Innere des Augapfels ein und breitet sich als Netzhaut $n n'$ aus. Letztere bildet

den lichtempfindenden Theil des Auges, ist in *g*, d. i. an dem sogenannten gelben Fleck, welcher dem Scheitel der Hornhaut gerade gegenüber liegt, am empfindlichsten und wird gegen die Linse zu mehr und mehr empfindungslos. Die Stelle *b* ist gegen das Licht unempfindlich, d. i. blind. Zwischen der harten Haut und der Netzhaut befindet sich die in der Figur durch einen schwarzen Strich angedeutete Aderhaut, welche auf der Seite, die der Netzhaut zugewendet ist, mit einem schwarzen Farbstoff (Pigment) überzogen ist, durch welchen das im Innern des Auges von den Seiten zurückgeworfene Licht verschluckt wird. Die Aderhaut setzt sich bis vor die Linse fort und bildet dort die Regenbogenhaut oder Iris *rr'*. Die Iris ist auf der nach Innen gekehrten Seite sowie die Aderhaut mit einem schwarzen Farbstoffe überzogen; aussen ist sie bei verschiedenen Menschen verschieden gefärbt. Dieselbe liegt der Linse frei verschiebbar auf, so dass sie eine Art Blendung mit kreisförmiger Öffnung, das Sehloch oder die Pupille genannt, bildet. Das Sehloch erscheint von vorne gesehen vollkommen schwarz und kann durch Muskelfasern erweitert und verengt werden, was ganz unwillkürlich geschieht, je nachdem die Beleuchtung schwächer oder stärker ist.

Das auf die harte Haut fallende Licht wird von demselben unregelmässig nach allen Seiten zurückgeworfen und macht das Weisse des Auges sichtbar. Ebenso wird die Iris sichtbar, indem von derselben die seitlich durch die Hornhaut eindringenden Strahlen zerstreut werden. Nur jene Strahlen, welche nahe am Scheitel *o* der Hornhaut auffallen, dringen durch die Pupille, und werden von der Krystalllinse und dem Glaskörper so gebrochen, dass die von einem Punkt eines leuchtenden Gegenstandes kommenden Strahlen wieder in einem Punkte auf der Netzhaut vereinigt werden. Auf diese Art entsteht wie bei einer Sammellinse auf der Netzhaut ein verkleinertes und verkehrtes Bild der vor dem Auge befindlichen Gegenstände.

Um den Gang der Lichtstrahlen im Auge leichter verfolgen zu können, denken wir uns die vier brechenden Mittel, Hornhaut, wässrige Feuchtigkeit, Krystalllinse und Glaskörper, durch ein einziges Medium *NN* (Fig. 263) ersetzt, dessen vordere Grenzfläche *st* kugelig

Fig. 263.



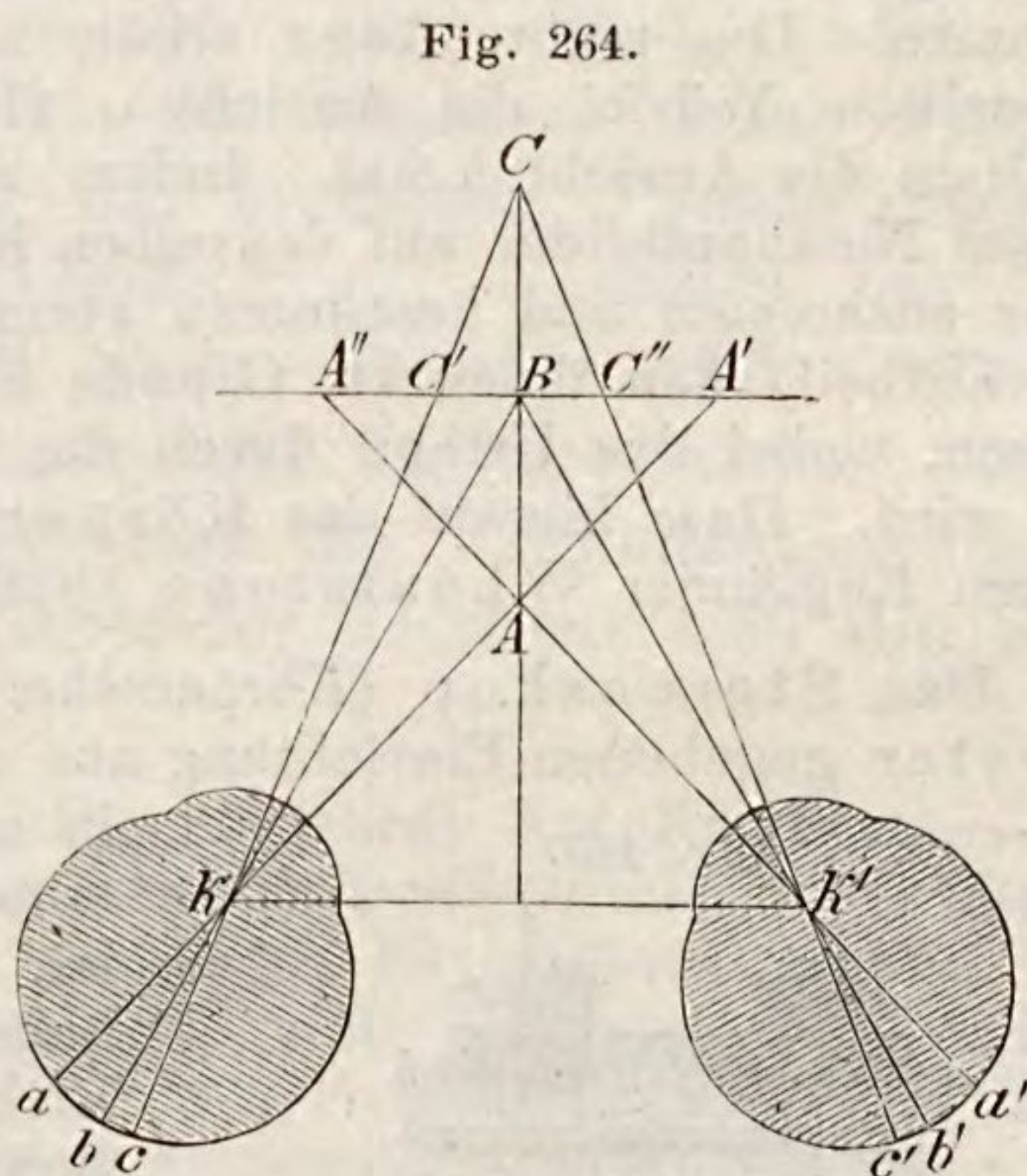
convex ist. Von *AB* entsteht das verkleinerte, verkehrte Bild *ab*. Verbindet man die einzelnen Bildpunkte mit den ihnen entsprechenden Punkten des Gegenstandes durch gerade Linien, so durchschneiden

sich dieselben in einem Punkte C , welchen man den Kreuzungspunkt nennt. Dieser Punkt, welcher gleichsam den optischen Mittelpunkt des Auges vorstellt, liegt im wirklichen Auge nahe vor der hinteren Fläche der Linse (in k Fig. 262) in der Augenaxe, d. i. in jener Geraden og welche von dem Scheitel der Hornhaut zum Mittelpunkte des gelben Fleckes gezogen gedacht wird.

Schneidet man einem frisch getödteten weissen Kaninchen ein Auge aus, und hält dieses, nachdem die harte Haut gehörig gereinigt worden, gegen einen hell beleuchteten Gegenstand, so sieht man denselben auf der hinteren Wand des Auges verkehrt und verkleinert abgebildet.

164. Aufrecht-, Einfach- und Doppeltsehen. Wenn eine Stelle der Netzhaut durch einen Lichteindruck gereizt wird, so versetzen wir die Ursache, d. i. den lichtausstrahlenden Punkt immer nach aussen hin in eine Gerade, welche durch die gereizte Stelle und durch den Knotenpunkt des Auges geht. Man nennt daher jede solche Gerade eine Richtungslinie. Da nun alle vom Netzhautbilde zu den ihnen entsprechenden Punkten des angesehenen Gegenstandes gezogenen Richtungslinien sich im Knotenpunkte schneiden, so sieht eine unterhalb der Augenaxe gereizte Stelle a (Fig. 263) aussen einen oberhalb der Augenaxe liegenden leuchtenden Punkt A und umgekehrt. *Wir sehen somit die Gegenstände aufrecht gerade* desshalb, *weil die Bilder der Netzhaut verkehrt sind.*

Versuch. Man stecke in ein Brett drei Nadeln A , B , C (Fig. 264) in gerader Linie hinter einander und fixiere die mittlere B mit den Augen; man sieht B einfach, die vordere A und die hintere C aber doppelt. Indem man abwechselnd das eine und andere Auge öffnet und schliesst, findet man, dass das linksgelegene Bild von A nämlich A'' dem rechten Auge k' , das rechts gelegene Bild A' aber dem linken Auge k angehört, während das rechte Bild C'' von der entfernteren Nadel C dem rechten, das linke Bild C' aber dem linken Auge angehört. Aus der Figur ersieht man zugleich, dass die Netzhautbilder von B in beiden Augen auf den gelben Fleck, jene von A sowohl als auch die von C aber auf entgegengesetzt gelegene Stellen der Netzhaut fallen.



Stehen die drei Nadeln neben einander und fixiert man wieder die mittlere B (Fig. 265), so sieht man auch die beiden anderen Nadeln A , C einfach. Die Figur zeigt, dass in diesem Falle die Netzhautbilder derselben Nadel in beiden Augen M , N auf ganz gleich gelegene Stellen fallen. Aus dem Ganzen folgt:

Wir sehen einen Gegenstand nur dann einfach, wenn jedes seiner Netzhautbilder auf rücksichtlich der Augenaxe gleich gelegene Stellen der Netzhaut fällt, so dass die Eindrücke in beiden Augen ganz gleichartig sind, daher auf denselben Ort bezogen werden und in unserem Bewusstsein zu einem Eindruck verschmelzen. Fallen aber die Netzhautbilder eines Gegenstandes auf verschiedenartige Netzhautstellen, so erscheint uns der Gegenstand doppelt.

Das Doppeltsehen tritt auch ein, wenn man ein Auge mit dem Finger seitlich drückt und so verhindert, dass beide Augenaxen sich auf denselben Punkt richten.

Fig. 265.

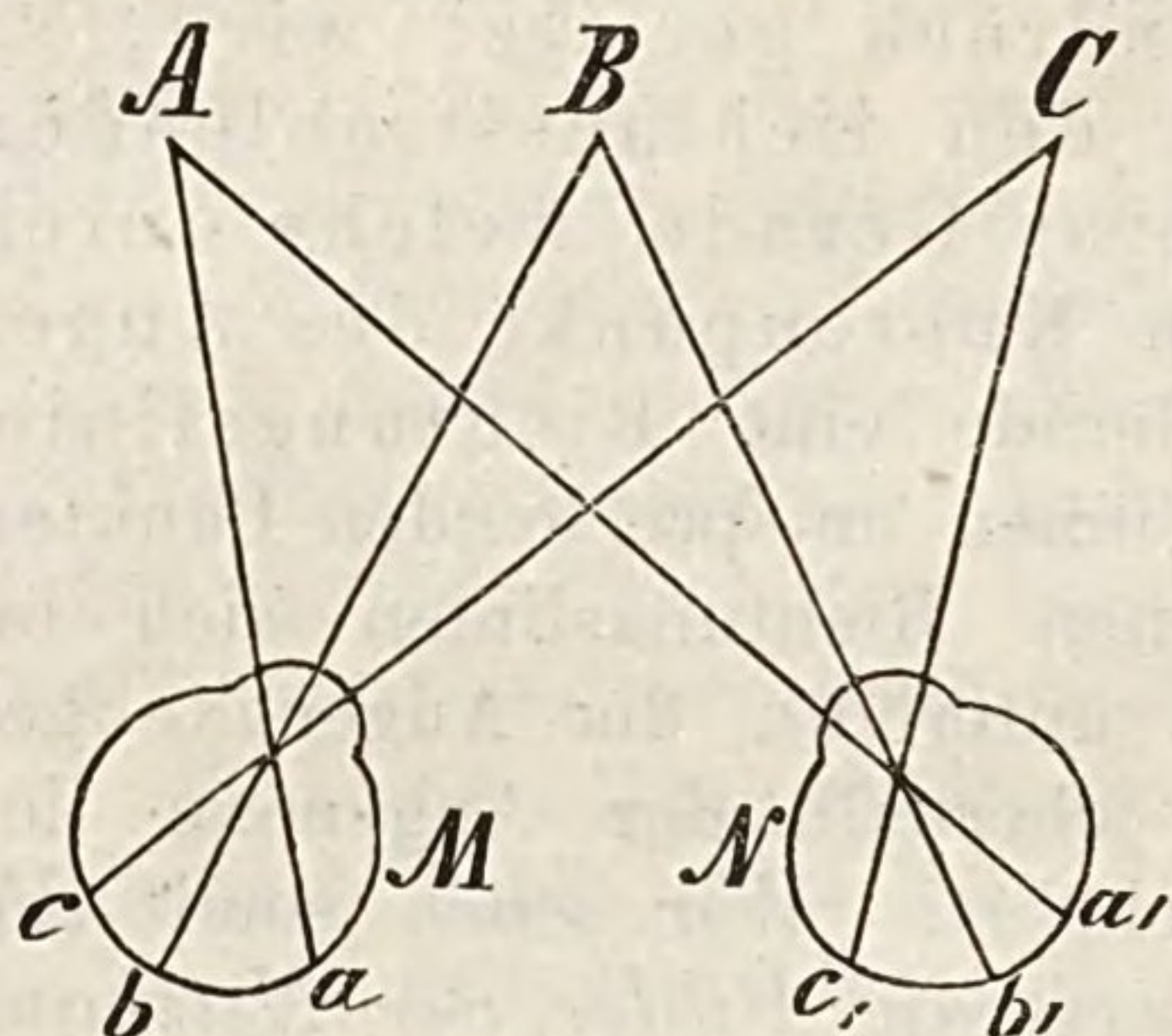
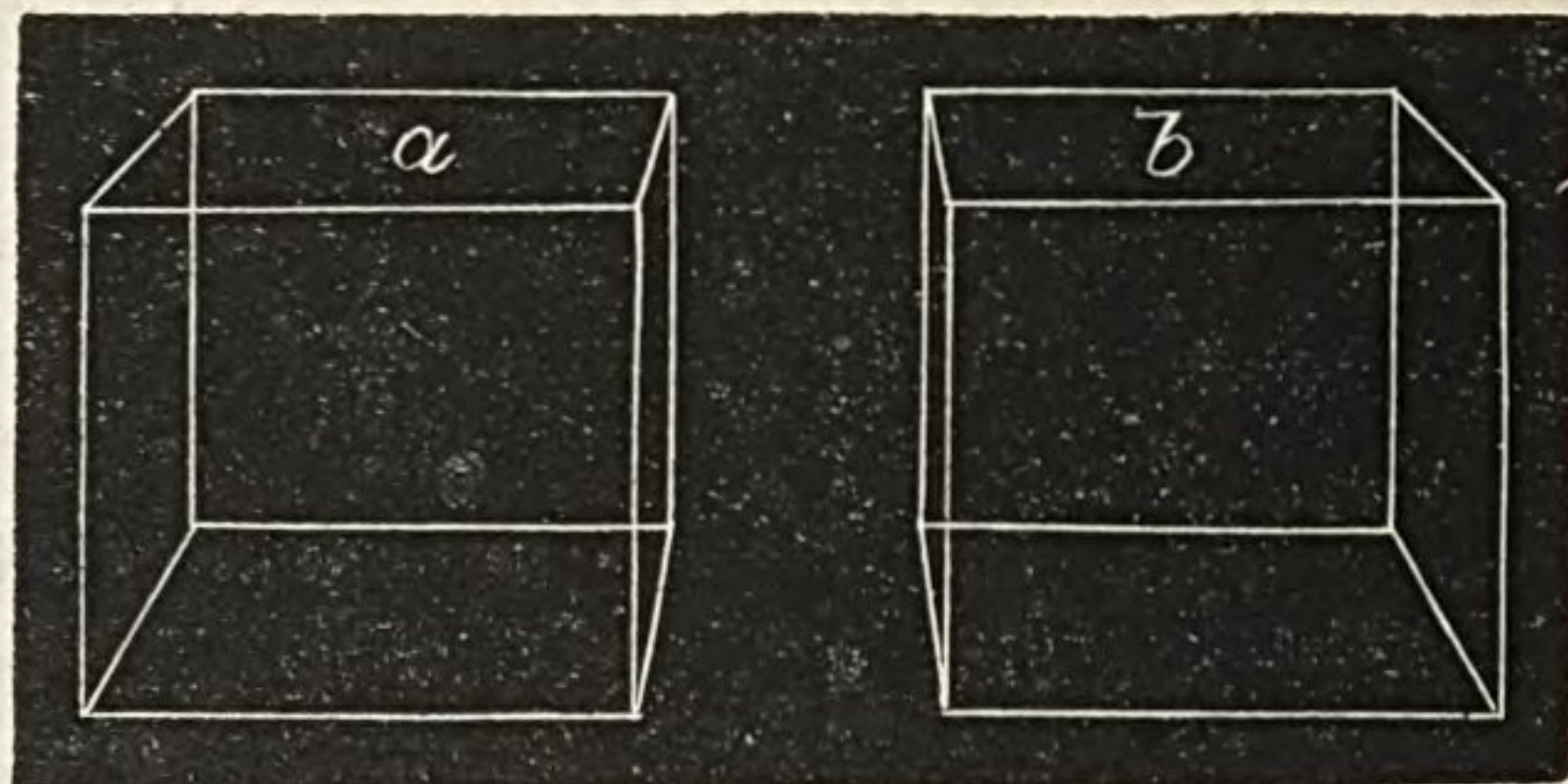


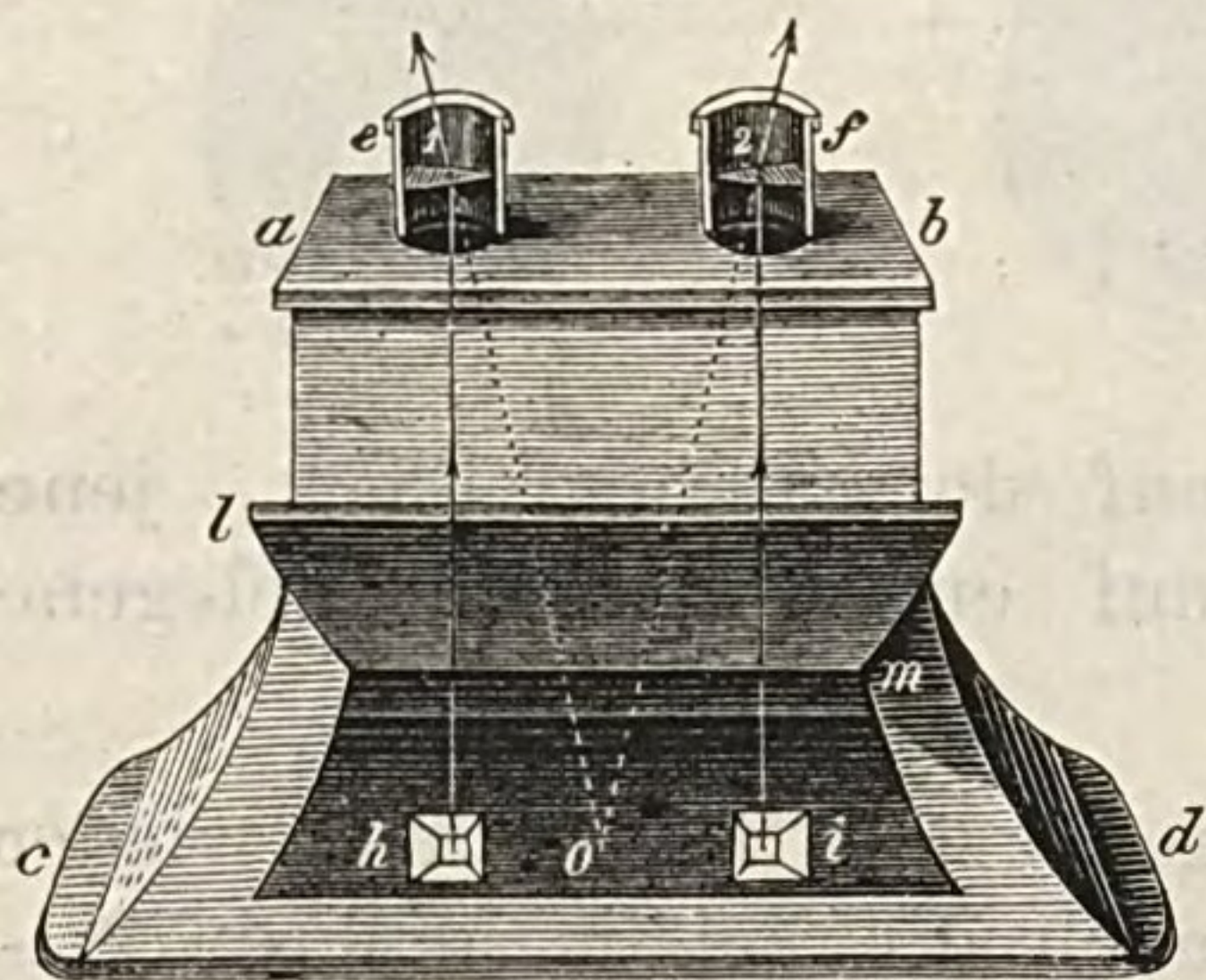
Fig. 266.



Da jedes Auge beziehlich eines nahen Gegenstandes einen anderen Standpunkt hat, so fallen die Netzhautbilder in den beiden Augen verschieden aus, gerade so wie wir von einem und demselben Gegenstande verschiedene Zeichnungen erhalten, wenn wir denselben von verschiedenen Standpunkten aus aufnehmen. Das rechte Auge erhält z. B. von einem in mässiger Entfernung aufgestellten Würfel die Ansicht *a* (Fig. 266), während das linke Auge von demselben die Ansicht *b* hat. Indem wir aber beim Sehen mit beiden Augen die zwei Netzhautbilder auf denselben Körper beziehen, fallen die Bilder gleichsam in eins zusammen und bestimmen vermöge ihrer perspectivischen Verschiedenheit unser Urtheil, den ihnen zu Grunde liegenden Gegenstand wirklich als Körper zu sehen, wobei das Urtheil durch die Vertheilung von Licht und Schatten unterstützt wird. Dass hierauf das Körperlichsehen beruht, lässt sich mit Hilfe des vom Engländer Wheatstone 1838 erfundenen Stereoskops nachweisen.

Das Stereoskop (Körperseher) besteht nach der ihm vom Engländer Brewster gegebenen Einrichtung aus einem Kästchen *abcd* (Fig. 267), welches

Fig. 267.



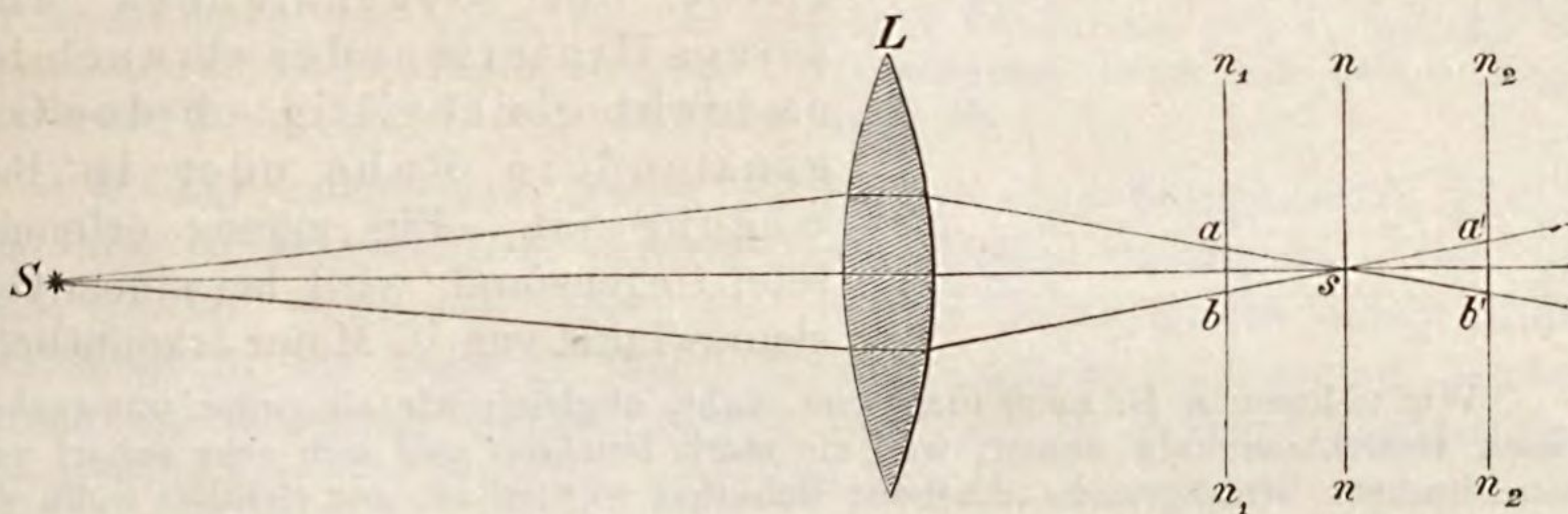
in *ab* zwei Röhren *e, f* enthält, in denen je eine Hälfte einer Sammellinse (1, 2) befestigt ist. Diese halben Sammellinsen werden erhalten, indem man eine Sammellinse in der Richtung ihrer Axe mitten zerschneidet. Am Boden des Kästchens schiebt man durch einen Spalt das Doppelbild eines Gegenstandes, z. B. einer abgestumpften vierseitigen Pyramide ein, welches so entworfen ist, dass das eine Bild *h*, dem Netzhautbilde im rechten Auge, das andere *i* dem Netzhautbilde im linken Auge entspricht. Das Bild wird durch das bei einer mit dem Deckel *lm* verschliessbaren Öffnung einfallende Licht zweckmässig beleuchtet. Blickt

man durch die Linsen 1, 2 gegen das Bild, so sieht jedes Auge nur das ihm entsprechende Bild, jedoch in Folge der in den Linsen stattfindenden Brechung des Lichtes so, dass die beiden Bilder *h, i* an der Stelle *o* zusammenfallen und man statt der

planen Zeichnungen den ihnen entsprechenden Körper mit all' seinen Erhabenheiten und Vertiefungen sieht.

165. Bedingungen des deutlichen Sehens. *Damit wir einen Gegenstand deutlich sehen, muss 1. vor allem auf der Netzhaut ein scharfes deutliches Bild des Gegenstandes entstehen.* Es entsteht aber auf der Netzhaut nur dann ein deutliches Bild, wenn die von einem Punkte des Gegenstandes in das Auge gelangenden Strahlen sich gerade auf der Netzhaut vereinigen. Denn denken wir uns die brechenden Medien des Auges durch die Linse L (Fig. 268) ersetzt und in S einen leuchtenden Punkt, dessen Strahlen nach der Brechung in der Linse sich in s vereinigen, so ersieht man, dass S auf der Netzhaut nur dann wieder als Punkt erscheint, wenn sie die Lage nn

Fig. 268.



hat, dass S dagegen als ein Scheibchen ab oder $a'b'$ auf der Netzhaut abgebildet wird, wenn diese die Lage $n_1 n_1$ oder $n_2 n_2$ hat, d. i. wenn der Vereinigungspunkt der Strahlen hinter oder vor die Netzhaut fällt. Bilden sich aber die einzelnen Punkte eines Gegenstandes auf der Netzhaut als Scheibchen ab, so fallen die Bilder der benachbarten Punkte theilweise über einander und verundeutlichen sich, wesshalb auch das Gesamtbild verschwommen ausfällt. Aus der Figur ist leicht zu erkennen, dass die Verundeutlichung um so grösser wird, je weiter vor oder hinter der Netzhaut sich die Strahlen vereinigen.

Weil das Auge wie eine Linse wirkt, so würde das Netzhautbild auch durch die sphärische und chromatische Abweichung verundeutlicht, wenn dieselben nicht in so hohem Grade beseitigt wären. — Ist die Krystalllinse getrübt, so ist ein deutliches Sehen nicht möglich; ja es tritt volle Blindheit ein, wenn die Krystalllinse undurchsichtig wird, wie das beim grauen Staar der Fall ist; durch Entfernung der Krystalllinse und durch Anwendung der sogenannten Staarbrillen, lässt sich das Übel beseitigen. Wird wie beim schwarzen Staar der Sehnerv gelähmt, so tritt unheilbare Blindheit ein; denn hier ist der Sehnerv gegen den Lichtreiz unempfindlich.

2. Das Netzhautbild darf nicht zu klein sein. Die Grösse des Netzhautbildes hängt ab vom *Gesichtswinkel*, d. i. von dem Winkel, welchen die von den äussersten Grenzpunkten des Gegenstandes ausgezogenen Richtungslinien bilden, wie diess aus den Figuren 269 und 270 ersichtlich ist. Diese Figuren zeigen zugleich, dass die Grösse des Gesichtswinkels und damit zusammenhängend die Grösse des Netzhautbildes abnimmt, wenn die Entfernung des Gegen-

standes zunimmt. Figur 271, worin O den Kreuzungspunkt vorstellt, macht ferner ersichtlich, dass bei gleich bleibender Entfernung die

Fig. 269.

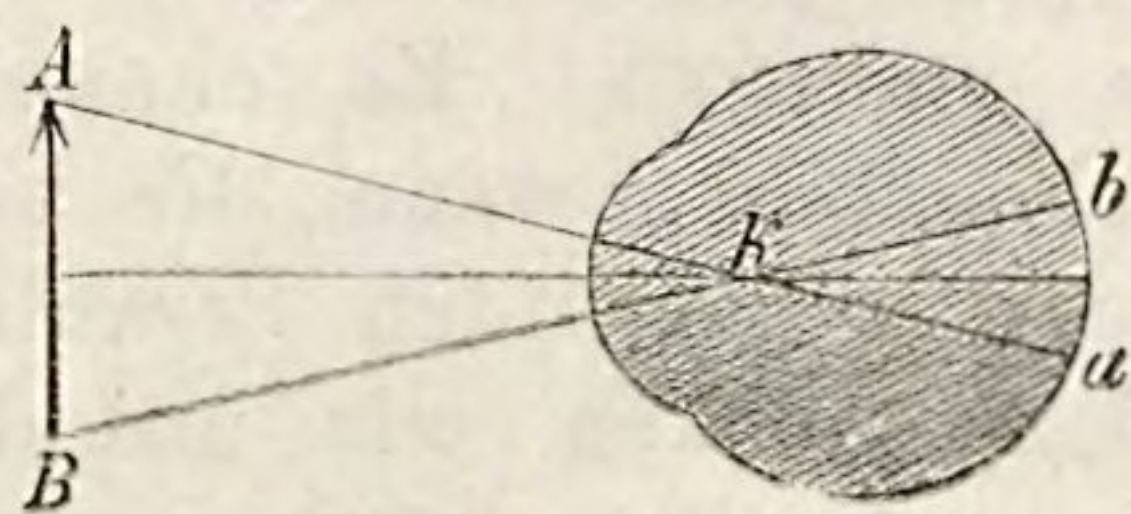
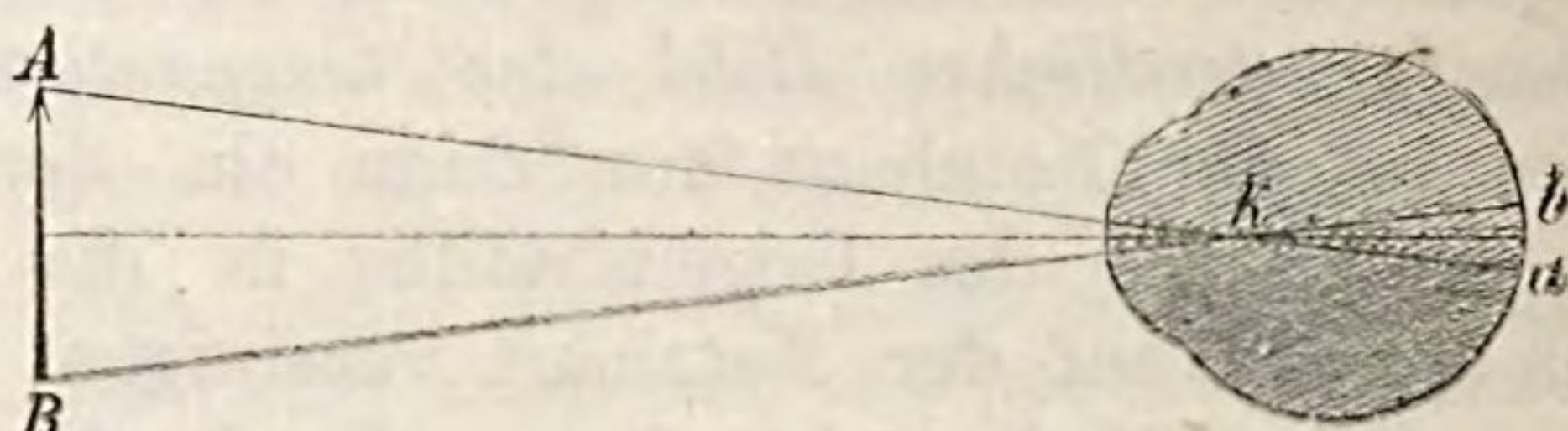
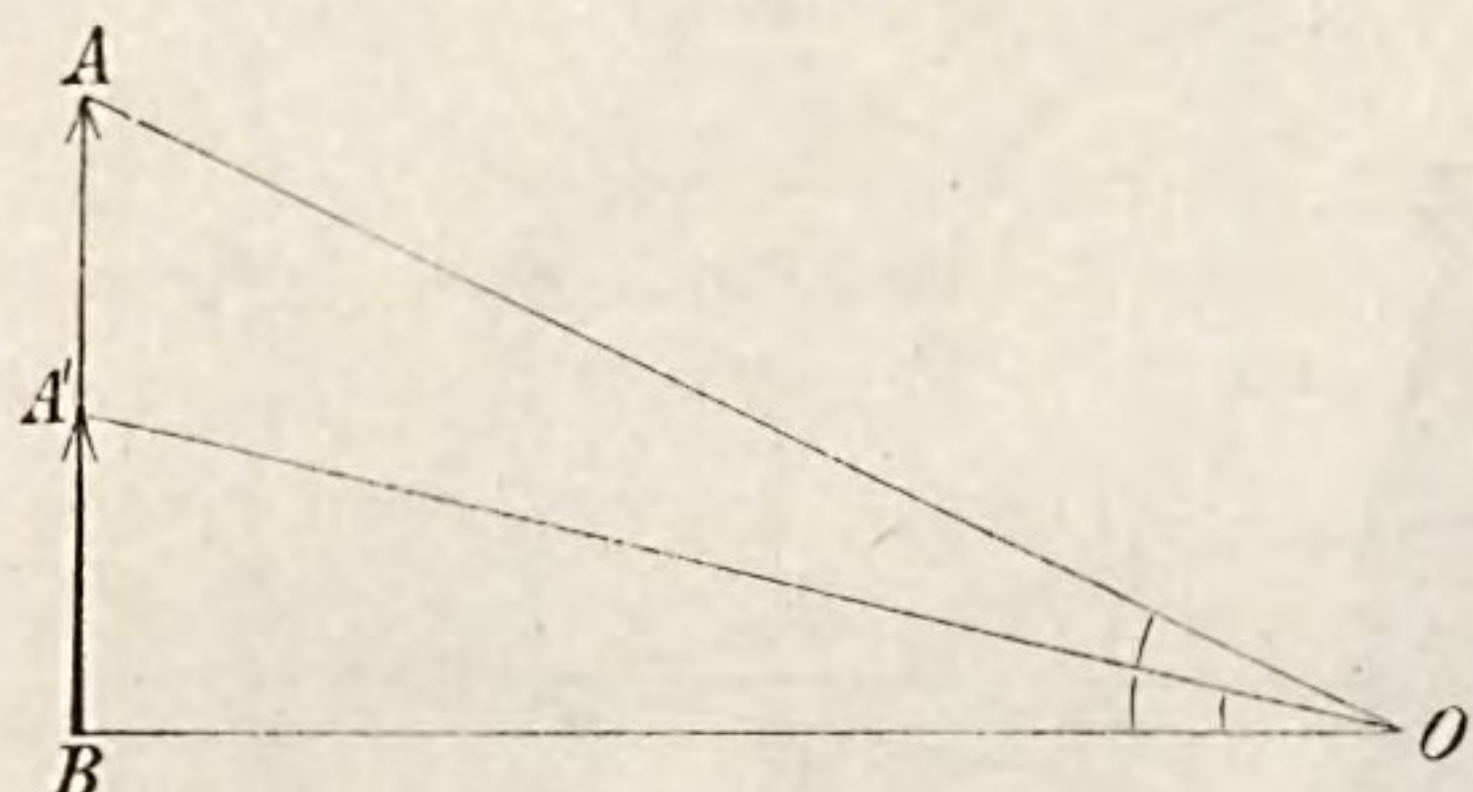


Fig. 270.



Grösse des Gesichtswinkels mit der Grösse des Gegenstandes wächst. Der Gesichtswinkel, unter welchem ein Gegenstand dem

Fig. 271.



Auge erkenntlich wird, hängt von der Beleuchtungsstärke, der Farbe des Gegenstandes und seines Hintergrundes ab; auch ist es nicht gleichgiltig, ob der Gegenstand in Ruhe oder in Bewegung ist. Ein mässig erleuchteter Gegenstand wird bei einem Gesichtswinkel von $\frac{1}{2}$ Meter erkenntlich.

Wir nehmen z. B. noch Fixsterne wahr, obgleich wir sie unter unmessbar kleinen Gesichtswinkeln sehen, weil sie stark leuchten und sich sehr scharf von einem dunkeln Hintergrunde abheben; Schatten werden oft erst sichtbar wenn sie sich bewegen.

Von der Grösse des Netzhautbildes oder auch von dem Gesichtswinkel hängt die *scheinbare Grösse* des Gegenstandes ab, so dass diese durch alles geändert wird, was eine Änderung in der Grösse des Netzhautbildes oder des Gesichtswinkels hervorbringt. So erscheint uns AB (Fig. 272) grösser als BC , weil AB unter dem grösseren Winkel AOB gesehen wird. Befindet sich aber AB in der

Fig. 272.

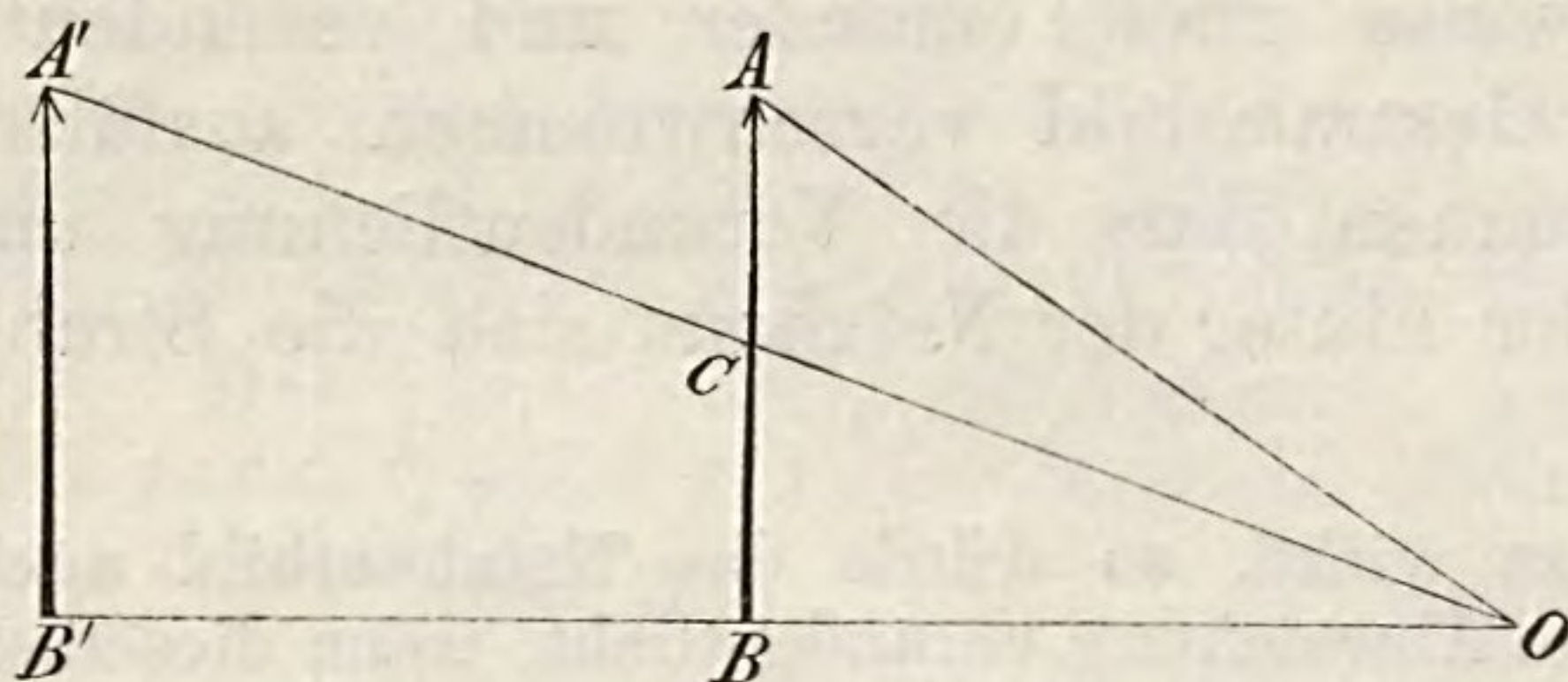
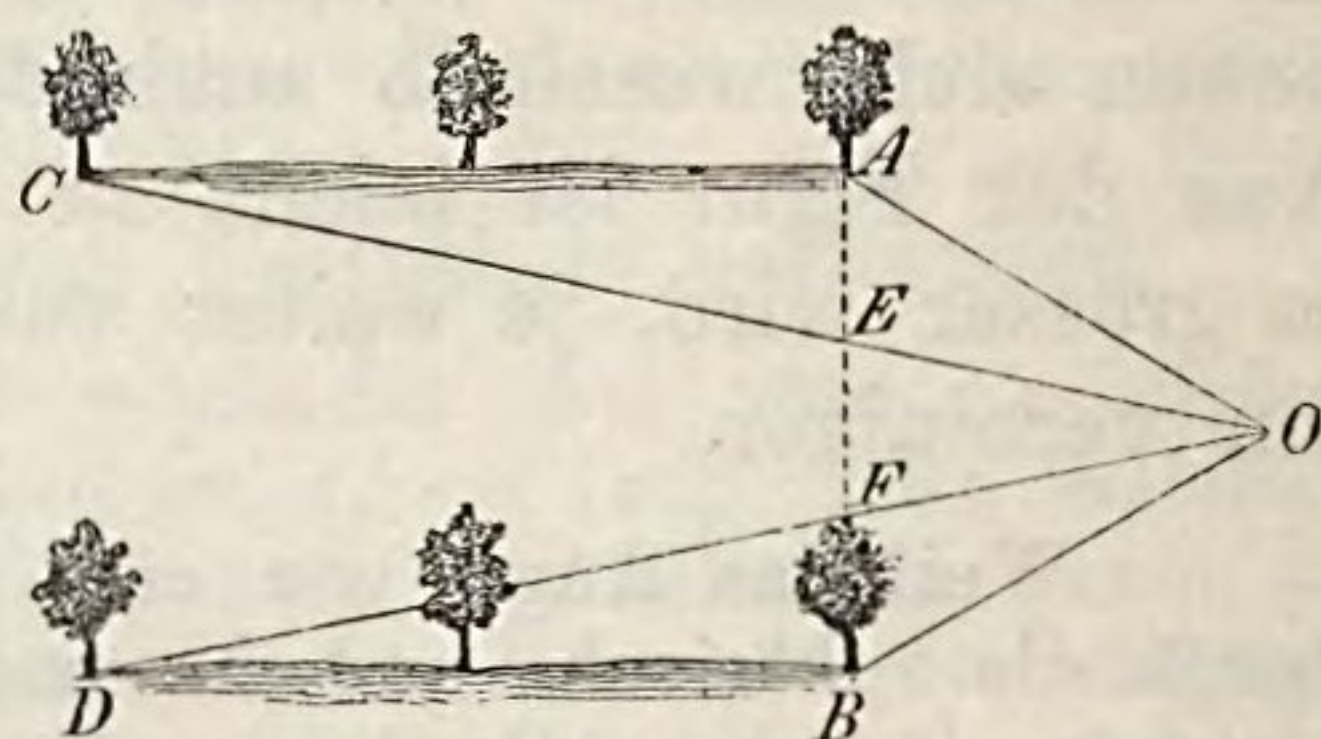


Fig. 273.



Stellung $A'B'$, so erscheinen BC und $A'B'$ unter gleichem Gesichtswinkel, weshalb uns $A'B'$ durch BC verdeckt wird. Hieraus wird es erklärlich, warum die bei weitem grösseren aber viel entfernteren Fixsterne kleiner als der nähere Mond erscheinen, warum die parallelen Baumreihen (vgl. Fig. 273) einer Allee in der Ferne zusammenzulaufen scheinen. Warum scheint eine wagrechte Strasse in der Ferne bergan zu steigen, warum die Decke eines langen Saales gegen das ferne Ende hin sich zu senken, ein entfernter Wald, ein fernes Kornfeld eine dichte Masse zu bilden?

Durch lange Erfahrung, insbesondere durch Vergleichung der Wahrnehmungen des Gesichtssinnes mit jenen des Tastsinnes kommt der Mensch dahin, sowohl die wahre Grösse, als auch die Entfernung der gesehenen Gegenstände schnell und richtig zu beurtheilen. Da grosse und kleine Gegenstände bei verschiedener Entfernung unter demselben Gesichtswinkel erscheinen können, so beurtheilen wir die wahre Grösse eines Gegenstandes nur dann richtig, wenn wir seine Entfernung richtig abschätzen. So stellen wir uns einen fern stehenden

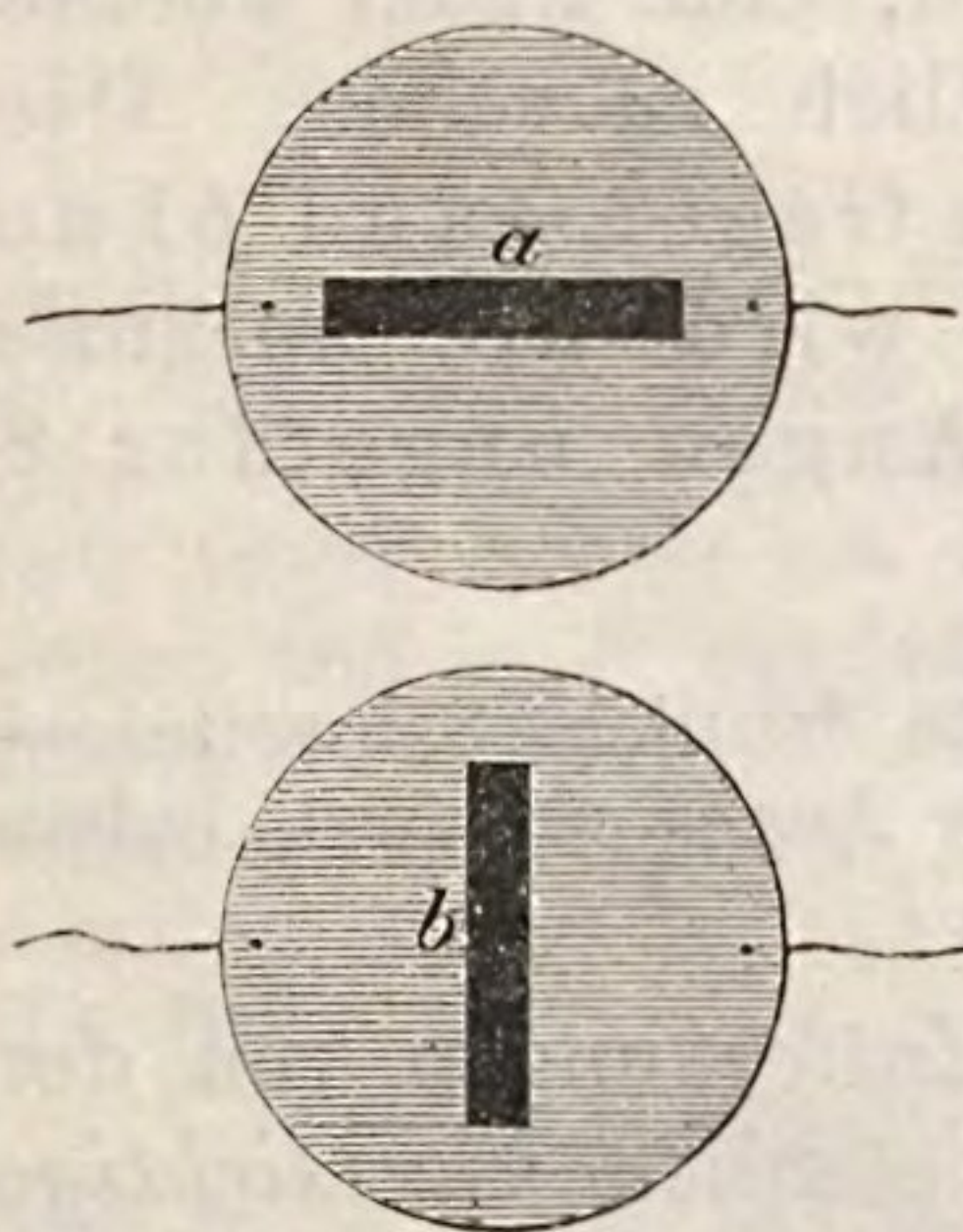
Mann als gross, ein nahes Kind als klein vor, weil wir die Entfernung berücksichtigen. Da wir in der Abschätzung von verticalen Entfernungen nicht so geübt sind als in der Beurtheilung horizontaler Abstände, so kommen uns von einem Thurme aus gesehen, die Gegenstände am Fusse desselben verkleinert vor. — Bei Beurtheilung der Entfernung achten wir besonders auf die Helligkeit und Deutlichkeit der gesehenen Gegenstände, ferner auf die zwischen uns und dem Gegenstande befindlichen Dinge. Wir halten einen Gegenstand für um so näher, je heller und deutlicher er uns erscheint und je weniger Dinge wir zwischen ihm und uns wahrnehmen. Diess gibt aber häufig zu optischen Täuschungen Veranlassung. So halten wir die mit Schnee bedeckten Berge, in der Nacht ein fernes Feuer für zu nahe; die über uns gelegenen Theile des Himmelsgewölbes scheinen näher zu liegen als die am Horizonte befindlichen, weil die über uns befindlichen Luftschichten durchsichtiger und heller als jene am Horizonte sind und weil zwischen den mittleren Theilen des Himmelsgewölbes und uns keine Gegenstände vorhanden sind. Daher erscheinen uns Sonne und Mond beim Auf- und Untergange grösser als am hohen Himmel zu sein. Da der Winkel, welchen die beiden Augenaxen bilden, um so grösser ist, je näher der gesehene Gegenstand liegt, so kommt uns das Gefühl der Anstrengung, den Augenaxen den gehörigen Winkel zu geben, bei der Beurtheilung der Entfernungen zu Gute. Wir schätzen daher mit beiden Augen die Abstände richtiger als mit nur einem Auge ab.

3. *Zum deutlichen Sehen ist ferner eine hinreichende Helligkeit des Netzhautbildes erforderlich.* Dieser Bedingung wird nur dann genügt, wenn von jedem Punkte des Gegenstandes entsprechend viel Licht in das Auge gelangt. Eine zu grosse Lichtmenge hindert jedoch das deutliche Sehen ebenso wie eine zu geringe Lichtstärke; die Möglichkeit die Pupille unwillkürlich zu verengern und zu erweitern, setzt uns in den Stand bei sehr grossen Lichtunterschieden, wie z. B. beim Sonnenlichte und bei dem 300.000 mal schwächeren Lichte des Vollmondes deutlich zu sehen.

Tritt man aus dem Tageslichte in einen dunklen Raum, so sieht man anfänglich nichts, weil die Netzhaut sich erst allmähig von dem vorhergehenden stärkeren Lichteindruck erholt und für die schwächere Beleuchtung empfindlich wird. Auch ein plötzlicher Übergang aus einem finsternen in einen sehr stark erleuchteten Raum kann den Sehnerven lähmen.

4. *Das im Auge erzeugte Netzhautbild muss eine gewisse Zeit andauern;* diese Zeit hängt von der Lichtstärke des Gegenstandes ab; so sehen wir den elektrischen Funken, obgleich er nicht einmal

Fig. 274.



$\frac{1}{72000}$ Secunde andauert, während wir eine abgeschossene Flintenkugel nicht zu sehen vermögen.

Der Blitz, der elektrische Funke bei der Elektrisiermaschine erscheinen als eine Linie, weil der Lichteindruck einer Stelle noch fort dauert während von einer benachbarten Stelle ein neuer Lichtreiz ausgeht (Vgl. Versuch d §. 159). Auf der einen Seite einer Pappscheibe sei ein horizontaler Streifen *a* (Fig. 274), auf der anderen Seite ein verticaler Streifen *b* gezeichnet; wird die Scheibe mittelst der an den Enden eines Durchmessers befestigten Schnüre rasch gedreht, so sieht man ein Kreuz. Stroboskopische Scheiben.

Warum erscheint ein rasch sich drehendes Rad als eine durchscheinende Scheibe?

Aus dem Umstande, dass das Netzhautbild einige Zeit fortwirkt, erklären sich die sogenannten Nachbilder. Sieht man nämlich auf einen hell erleuchteten Gegenstand, z. B. auf ein Fenster, und schliesst plötzlich die Augen, so sehen wir noch kurze Zeit den Gegenstand oder vielmehr sein Nachbild. — Die einem Lichtreize längere Zeit ausgesetzte Stelle der Netzhaut wird für einen gleichartigen Lichtreiz weniger empfänglich als für einen andern. Sieht man z. B. einige Zeit auf eine hellrothe Scheibe und wendet das Auge dann auf eine weisse Fläche, so sieht man auf dieser einen grünen, also complementär gefärbten Kreis; wäre die Scheibe grün, so sähe man auf der weissen Fläche einen rothen Kreis. So rufen sich auch orange und blau, gelb und violett gegenseitig hervor. Man nennt diese Farben, weil sie den Gegenständen als solchen nicht eigen sind, subjective Farben. Farbige Schatten.

166. Accomodationsvermögen. Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit. Versuch. Man mache auf eine durchsichtige Glastafel einen schwarzen Fleck, und halte die Tafel etwa 10 Zoll vor das Auge; fixiert man den Fleck, so dass man ihn deutlich sieht, so erscheinen die entfernteren Gegenstände mit verschwommenen Umrissen; sieht man dagegen durch die Glastafel die entfernten Gegenstände deutlich, so erscheint der nähere schwarze Fleck undeutlich. — Hat man längere Zeit in die Ferne gesehen, und wendet hierauf den Blick auf nahe Dinge, so braucht das Auge eine ziemliche Weile, bevor es die Dinge in der Nähe wieder deutlich sieht.

Bekanntlich ändert das mit einer Convexlinse erzeugte Bild seine Lage, sobald der vor der Linse befindliche Gegenstand seine Stellung ändert (vgl. §. 156). Nun wirken die im Auge vorhandenen lichtbrechenden Stoffe so wie eine Convexlinse; folglich könnte für den Fall, als im Auge gar keine Veränderungen möglich wären, nur von den in einer bestimmten Entfernung befindlichen Gegenständen ein deutliches Bild auf der Netzhaut entstehen. Da wir nun aber sowohl nahe als ferne Gegenstände mit blossem Auge deutlich sehen können, das deutliche Sehen aber durch die Entstehung des Bildes auf der Netzhaut bedingt ist, so müssen wir schliessen, dass *im Auge gewisse Veränderungen eintreten können, in Folge welcher es uns möglich wird in die Ferne und Nähe deutlich zu sehen.* Diese Fähigkeit des Auges sich beim Sehen den Entfernungen der Gegenstände anzupassen, heisst *Accomodationsvermögen*. Dasselbe ist für ferne Gegenstände so zu sagen unbegrenzt; für nahe Gegenstände hat es aber eine Grenze, indem es uns z. B. nicht möglich ist, eine Nadel welche 1 bis 2 Zoll vor das Auge gehalten wird, deutlich zu sehen. Die kleinste Entfernung, in welcher wir einen Gegenstand ohne Anstrengung noch deutlich sehen können, wird die *normale Sehweite* genannt; sie beträgt für gesunde Augen ungefähr 8 bis 10 Zoll.

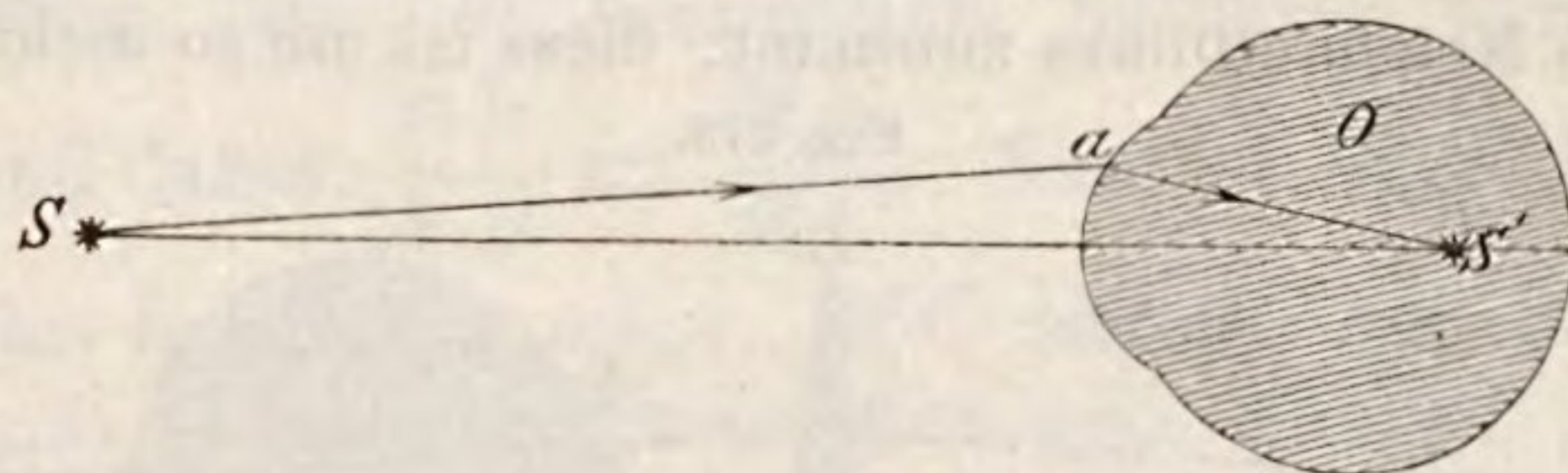
Beim Lesen hält man das Buch unwillkürlich in die deutliche Sehweite. — Beim Accomodieren in die Nähe wird die Brennweite des Auges verkürzt, indem eine stärkere Krümmung der Linse erzeugt wird.

Nicht alle Augen vermögen sich für alle Entfernungen von der normalen Sehweite an zu accomodieren. Es gibt nämlich *kurzsichtige Augen*, deren deutliche Sehweite bedeutend kleiner als die normale ist, welche sich also für die Ferne nur sehr schwer oder

gar nicht accommodieren können. Andere Augen sind *weitsichtig*, d. h. haben eine deutliche Sehweite, welche merklich grösser als die normale ist, oder deren Accommodationsvermögen in die Nähe sehr eingeschränkt ist. Die Kurz- und Weitsichtigen müssen Brillen anwenden, um deutlich zu sehen; die ersteren müssen Hohlinsen, die letzteren Convexlinsen gebrauchen.

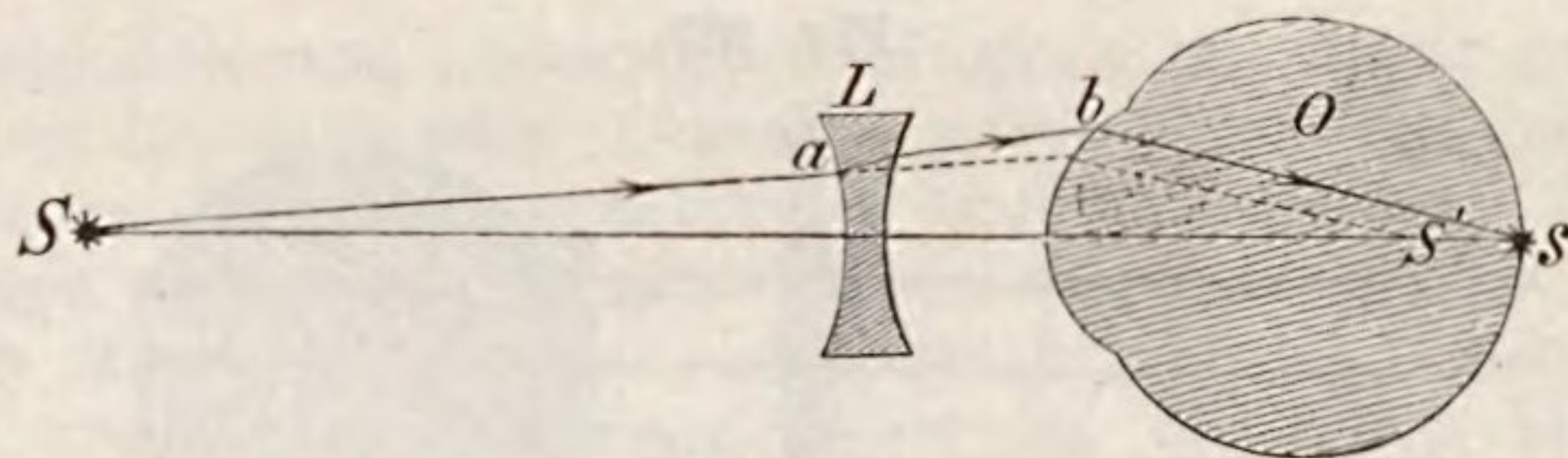
Ist O (Fig. 275) ein kurzsichtiges Auge und S ein in der normalen Sehweite befindlicher leuchtender Punkt; so wird der Strahl Sa im Auge so ge-

Fig. 275.



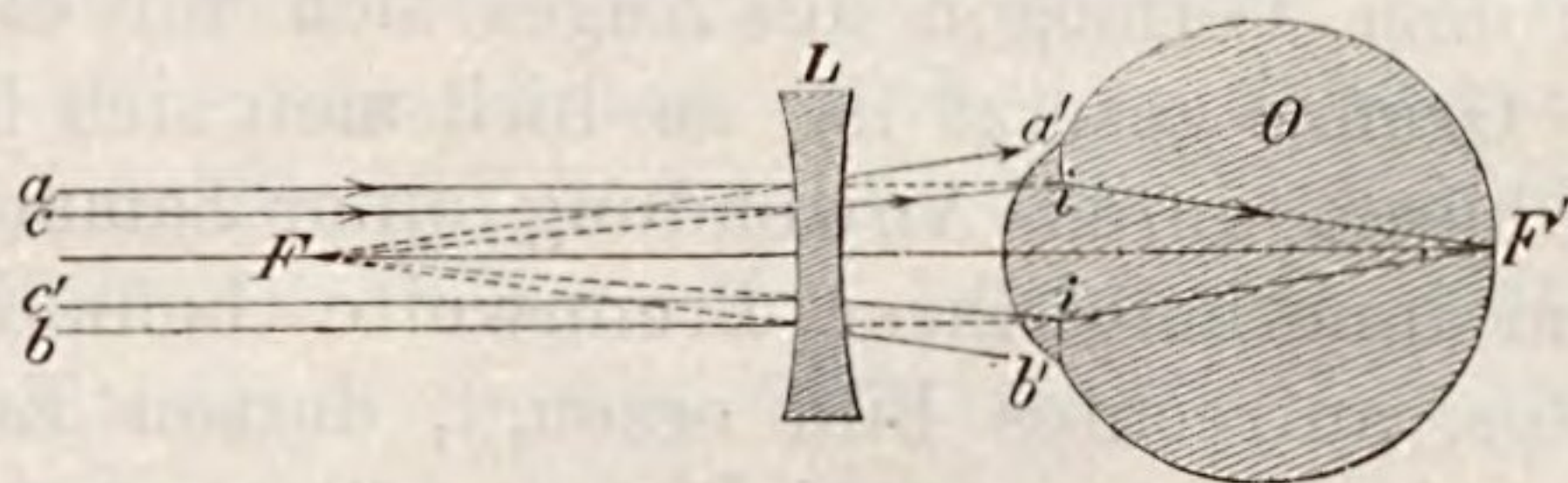
brochen, dass er die Augenaxe in S' vor der Netzhaut schneidet. Es handelt sich also beim kurzsichtigen Auge darum, die Strahlen divergierender zu machen, so dass sie sich erst später vereinigen, als kämen sie von einem näher am Auge liegenden Punkte. Diess bewirken nach §. 157 Hohlinsen. Fig. 276 zeigt ein mit einer

Fig. 276.



Hohllinse L bewaffnetes kurzsichtiges Auge; S ist der leuchtende Punkt, S' sein Bild ohne Anwendung der Linse L , s das Bild beim Gebrauch der Brille. Ein kurzsichtiges Auge sieht aber selbst mit der Brille nicht so deutlich wie ein gesundes Auge, weil durch die Hohllinse die Grösse und die Lichtstärke des Netzhautbildes vermindert werden und zwar um so mehr, je weiter die Brille vom Auge absteht. Dass die Lichtstärke des Netzhautbildes abnimmt zeigt Fig. 277. Wäh-

Fig. 277.

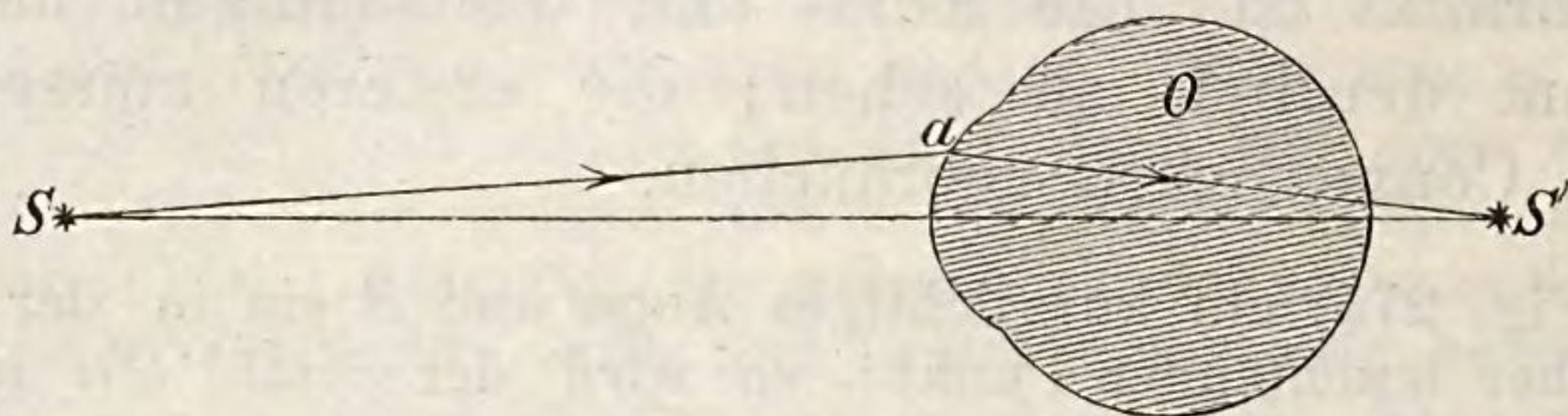


rend ohne Brille L noch die als parallel angenommenen Strahlen a, b durch die Pupille $i i'$ durchgehen, werden diese Strahlen beim Gebrauche der Brille in die Richtungen a', b' gebrochen, als kämen sie vom Brennpunkte F' und gelangen daher nicht in's Auge, so dass nur die zwischen c, c' liegenden Strahlen durch die Pupille gehen und in F' vereinigt werden. Die Abnahme der Lichtstärke des Netzhautbildes wird um so beträchtlicher, je kleiner die Brennweite der Linse, d. i. je schärfer die Brille ist. Kurzsichtige müssen die Brille möglichst nahe an das Auge bringen und zwar ist diess um so mehr zu beherzigen, je schärfer die Brille ist.

Bei weitsichtigen Augen fällt der Vereinigungspunkt der Strahlen, welche von in normaler Sehweite befindlichen Gegenständen kommen, hinter die Netzhaut (Fig. 278). Die Strahlen müssen also convergierender gemacht werden, damit sie früher zum Durchschnitt gelangen, als kämen sie von einem ferner

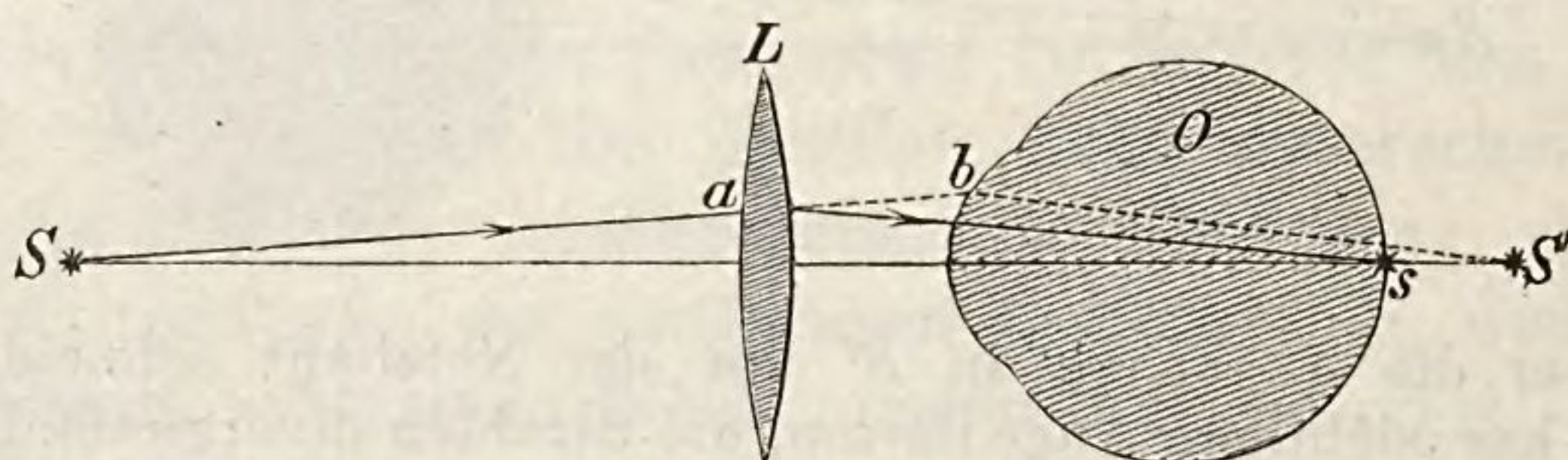
stehenden Gegenstände. Diess wird durch Anwendung einer Convexlinse (vgl. §. 156) bewirkt. Fig. 279 zeigt den Gang des Lichtes beim Gebrauche einer

Fig. 278.



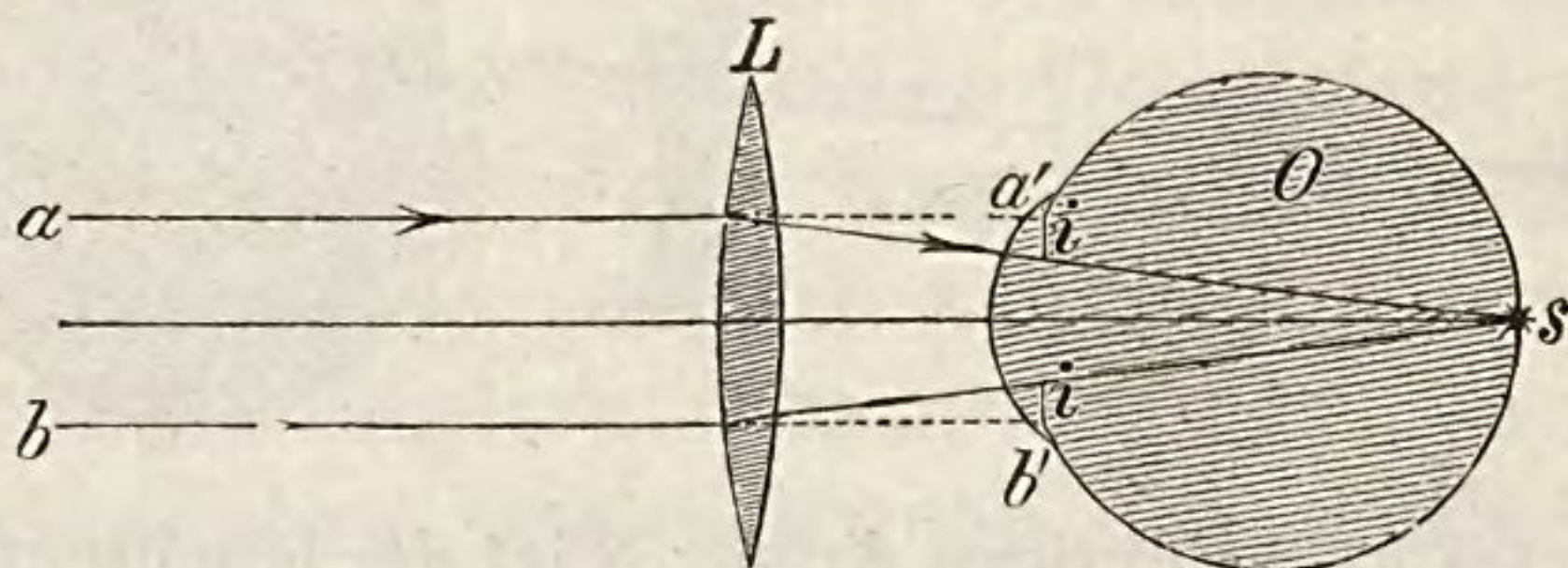
Sammellinse. Fig. 280 macht ersichtlich, dass bei Anwendung der Sammellinse die Lichtstärke des Netzhautbildes zunimmt; diess ist um so mehr der Fall, je weiter

Fig. 279.



die Brille vom Auge absteht. Weitsichtige sollen die Brille so weit als möglich vom Auge abstehen lassen. Sehr gewöhnlich sind die Augen

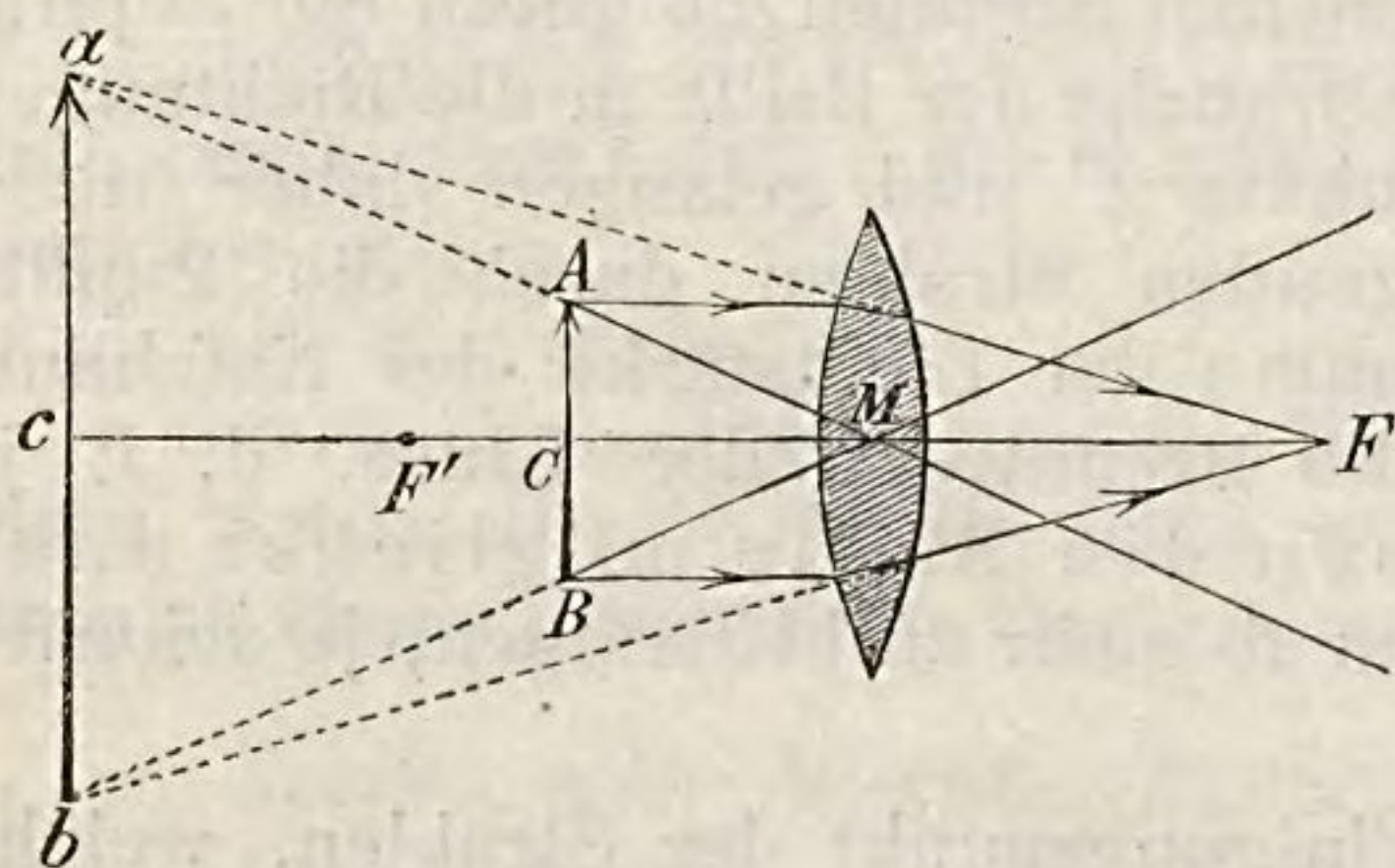
Fig. 280.



älterer Personen weitsichtig. — Die Brillen sind um's Jahr 1300 in Italien erfunden worden.

167. Mikroskop. Damit wir einen Gegenstand recht gross sehen, muss uns derselbe unter einem grossen Gesichtswinkel erscheinen, was der Fall ist, wenn der Gegenstand dem Auge recht nahe gebracht wird. Da aber dem Vermögen des Auges sich für die Nähe zu accommodieren eine Grenze gesetzt ist, so hilft man sich bei der Betrachtung sehr kleiner Objecte durch Anwendung einer Sammellinse, indem eine solche von dem innerhalb ihrer Brennweite befindlichen Gegenstande ein vergrössertes, aufrechtes Bild erzeugt, dessen Entfernung von der

Fig. 281.



Linse grösser, als jene des Gegenstandes ist. Mit Hilfe einer Sammellinse kann man es somit dahin bringen, dass von einem kleinen, nahe dem Auge liegenden Objecte in der deutlichen Sehweite ein vergrössertes, deutliches Bild entsteht. Fig. 281 macht die Entstehung des Bildes ersichtlich; M ist der optische Mittelpunkt, F und F' sind die Brennpunkte der Linse; AB stellt den Gegenstand, ab sein Bild vor.

Fig. 281 macht die Entstehung des Bildes ersichtlich; M ist der optische Mittelpunkt, F und F' sind die Brennpunkte der Linse; AB stellt den Gegenstand, ab sein Bild vor.

Ein Instrument, welches die Möglichkeit gewährt, Gegenstände, die wegen ihrer Kleinheit mit blossen Auge in der Sehweite entweder gar nicht oder nur sehr undeutlich gesehen werden, vergrössert und deutlich wahrzunehmen, wird ein *Mikroskop* (mikros = klein, skopein = sehen) genannt. Besteht ein Mikroskop nur aus einer Linse (Fig. 281), oder aus mehreren Linsen, welche zusammen wie eine einzige Linse wirken, so heisst dasselbe ein einfaches Mikroskop.

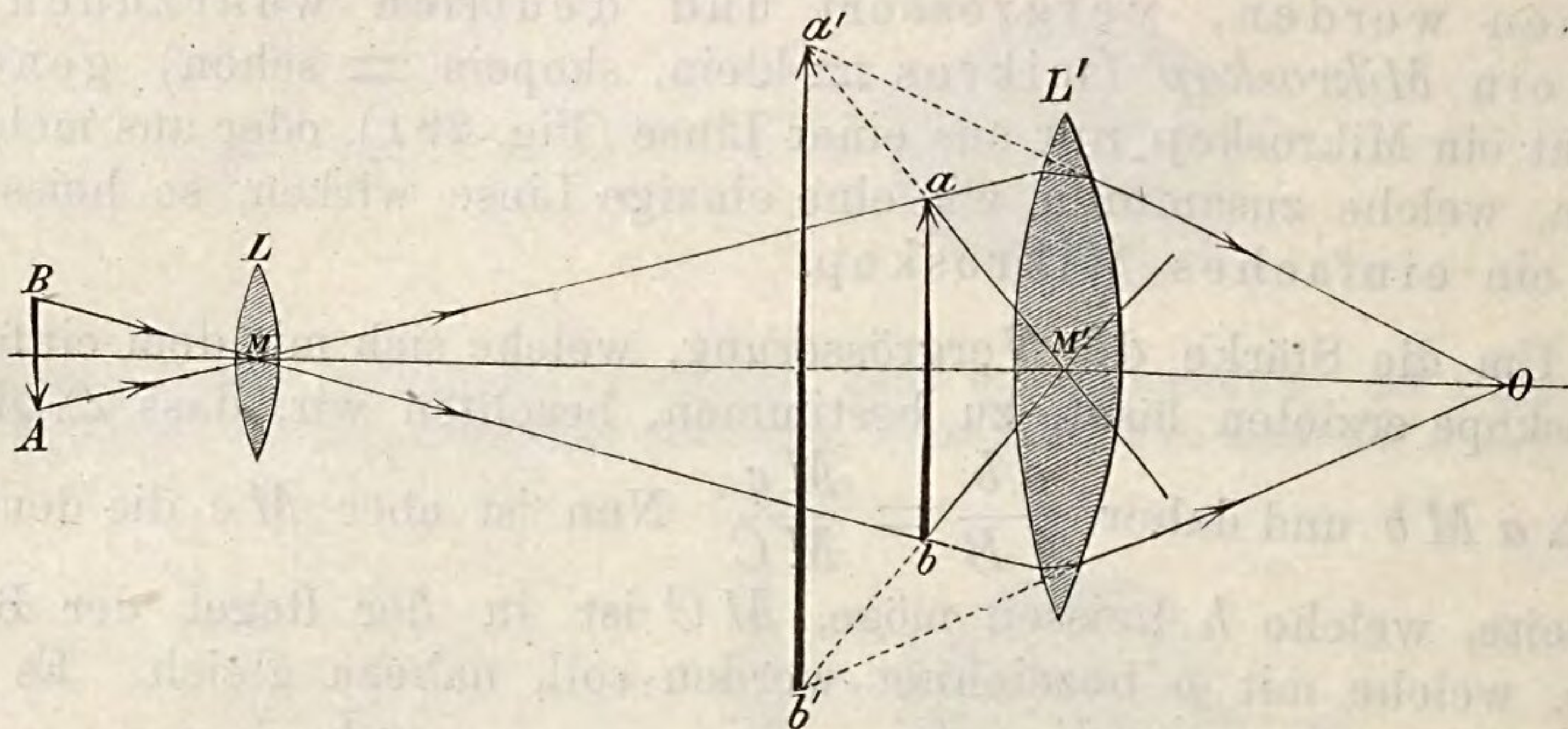
Um die Stärke der Vergrösserung, welche sich mit dem einfachen Mikroskope erzielen lässt, zu bestimmen, beachten wir, dass $\triangle AMB \sim \triangle aMb$ und daher $\frac{ab}{AB} = \frac{Mc}{MC}$. Nun ist aber Mc die deutliche Sehweite, welche h heissen möge, MC ist in der Regel der Brennweite, welche mit p bezeichnet werden soll, nahezu gleich. Es kann also gesetzt werden $\frac{ab}{AB} = \frac{h}{p}$. Den Quotienten $\frac{ab}{AB}$ heisst man die lineare Vergrösserung. Diese ist also beim einfachen Mikroskope gleich der deutlichen Sehweite dividiert durch die Brennweite der Linse.

Mit der Vergrösserung nimmt die Helligkeit ab; daher muss für eine gute Beleuchtung des zu betrachtenden Objectes gesorgt werden; man wendet hiezu Spiegel, bei undurchsichtigen Gegenständen auch Linsen an. — Das Bild soll von der sphärischen und chromatischen Abweichung möglichst frei sein. Auch ist die Grösse des Gesichtsfeldes zu berücksichtigen; man übersieht einen grösseren Raum, wenn man das Auge näher an die Linse hält. — Die Vergrösserung wird desto beträchtlicher, je kleiner die Brennweite der Linse und je grösser die deutliche Sehweite des Beschauers ist. Warum? Das Quadrat der linearen Vergrösserung wird die Flächenvergrösserung genannt. Letztere ist gewöhnlich verstanden, wenn von der Vergrösserung eines Mikroskops gesprochen wird. Beträgt die Brennweite mehr als einen halben Zoll, so nennt man die Linse gewöhnlich eine Lupe. — Man verfertigt auch einfache Mikroskope aus Edelsteinen, weil diese das Licht stark brechen, ohne die farbigen Strahlen sehr zu zerstreuen.

Man kann auch zwei Linsen so mit einander verbinden, dass das Bild, welches von der einen erzeugt wird, mit der anderen Linse vergrössert gesehen wird; hierauf beruht die Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskopes. Dasselbe besteht in seiner einfachsten Form aus einer Sammellinse L (Fig. 282), welche dem zu betrachtenden Objecte zugekehrt wird, und daher Objectiv heisst, und aus einer zweiten Sammellinse L' , welche dem Auge zugewendet und Ocular genannt wird. Das Objectiv erzeugt von dem ausserhalb seiner Brennweite befindlichen Gegenstande AB ein umgekehrtes Bild $a'b'$, welches innerhalb der Brennweite des Oculars zu liegen kommt, so dass es von diesem vergrössert und in die deutliche Sehweite gebracht wird; das durch das Ocular blickende Auge sieht daher in $a'b'$ ein umgekehrtes sehr vergrössertes Bild vom Objecte AB . Die Linsen sind in einem inwendig geschwärzten Rohre so angebracht, dass ihre Axen mit der Axe des Rohres zusammenfallen. Der Abstand des Objectivs und Oculars ist gewöhnlich unveränderlich, dafür aber ist die Einrichtung getroffen, dass man das Objectiv dem Gegenstande so weit

nähern kann, dass das Bild eben in der deutlichen Sehweite des Beschauers entsteht.

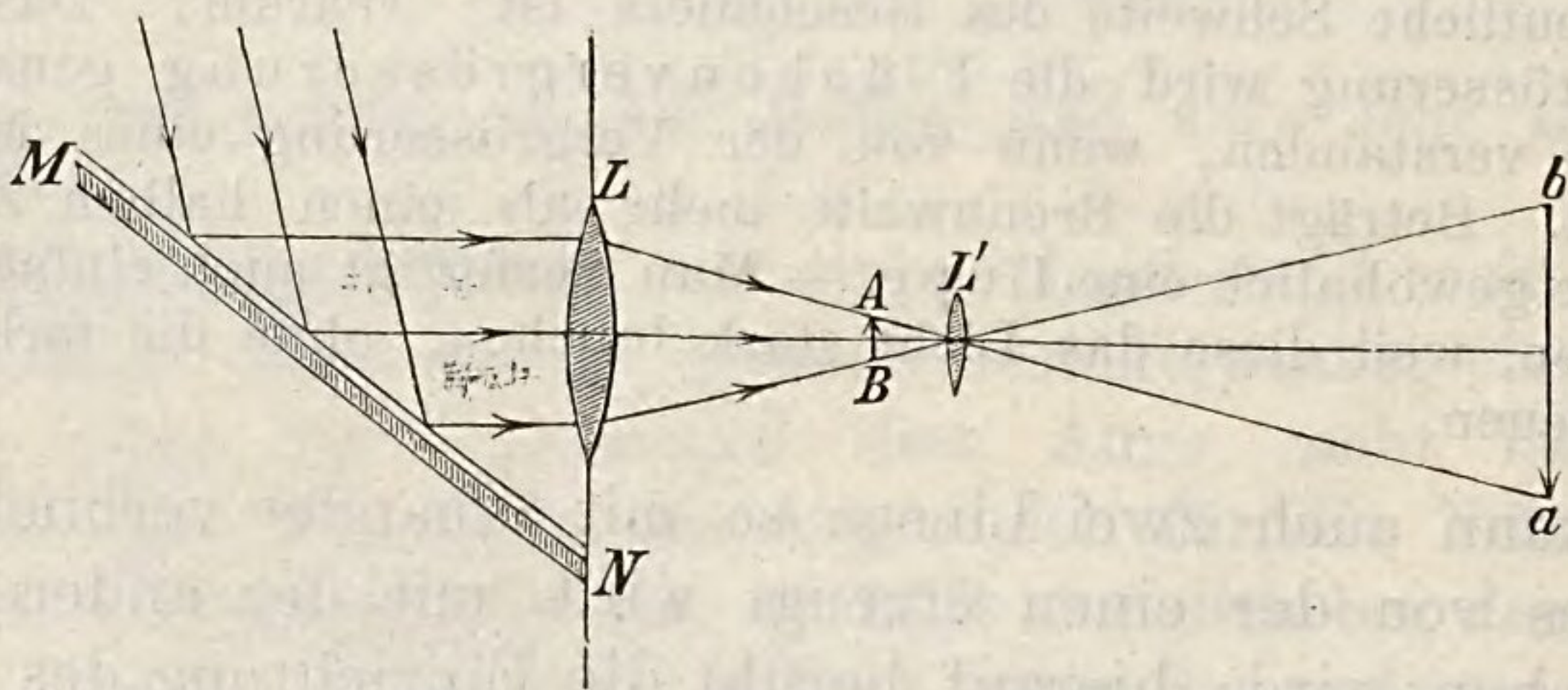
Fig. 282.



Weil das Ocular das vom Objectiv erzeugte Bild vergrössert, so sieht das Auge auch alle Fehler dieses Bildes vergrössert; Objectiv und Ocular müssen daher mit möglichster Sorgfalt angefertigt sein und bestehen gewöhnlich aus mehreren Linsen, so dass die sphärische und chromatische Abweichung möglichst beseitigt sind. Dort wo das Bild ab hinfällt ist eine geschwärzte Blende mit kreisrunder Öffnung angebracht, um die Randstrahlen abzuhalten.

Man kann das durch eine Linse von einem nahe am Brennpunkte befindlichen Gegenstande erzeugte vergrösserte Bild auch mittelst eines Schirmes auffangen und es so vielen Personen zugleich sichtbar machen. Diess geschieht z. B. beim Sonnenmikroskope, welches aus einer Beleuchtungslinse L (Fig. 283) und der Objectivlinse L' besteht. Durch einen Planspiegel MN wird Sonnenlicht auf L

Fig. 283.

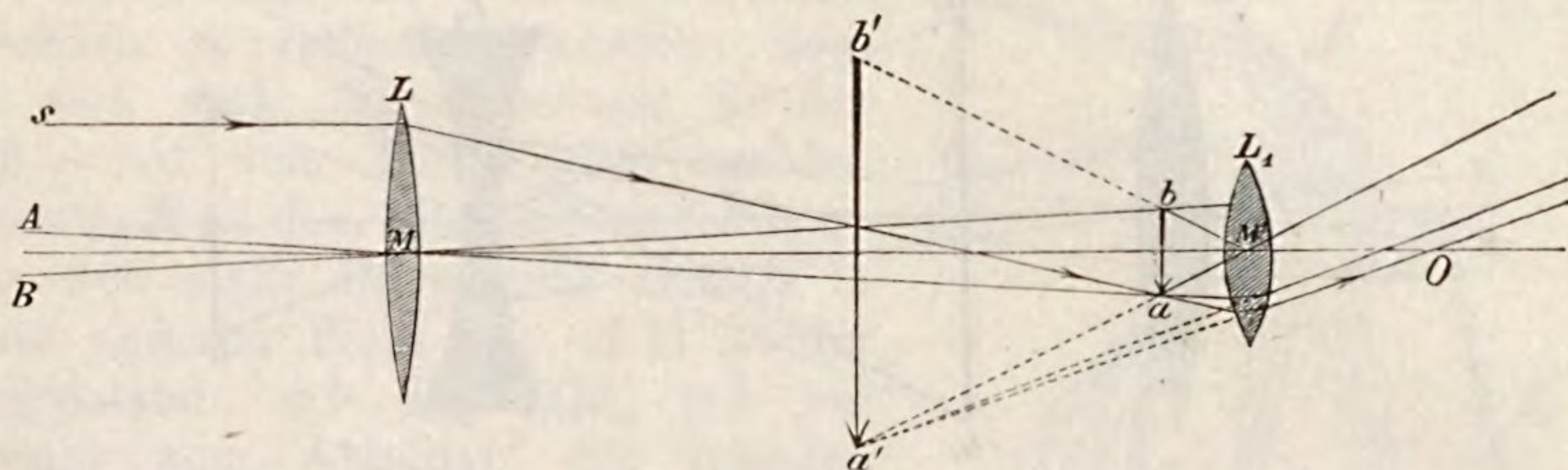


geleitet; von dieser Linse werden die Strahlen im Brennpunkte vereinigt, so dass das daselbst befindliche Object AB sehr hell beleuchtet wird. Je kleiner die Brennweite des Objectivs ist und je weiter die Wand vom Objectiv absteht, desto grösser fällt das Bild ab aus; das Object muss aber dem Brennpunkte der Linse L' um so näher gebracht werden, je weiter der Schirm absteht. (Warum?) — Das Knallgasmikroskop unterscheidet sich vom Sonnenmikroskope dadurch, dass das Object nicht durch Sonnenlicht, sondern mit Drummond'schen Lichte beleuchtet wird. — Zauberlaterne.

168. Fernrohr. Das Fernrohr dient dazu, Gegenstände, welche wegen ihrer grossen Entfernung dem blossen Auge zu klein erscheinen, unter einem vergrösserten Gesichtswinkel deutlich wahrzunehmen. Das astronomische oder Keppler'sche Fernrohr ist dem zusammengesetzten Mikroskop ganz ähnlich und besteht aus zwei convexen Linsen, der Objectivlinse L (Fig. 284) und der Ocularlinse L_1 . L erzeugt vom Gegenstande das verkehrte Luftbild ab , welches durch das

Ocular L_1 in $a'b'$ vergrössert gesehen wird. Die Vergrößerungszahl ist der Brennweite des Objectivs dividiert durch die Brennweite des Oculars gleich.

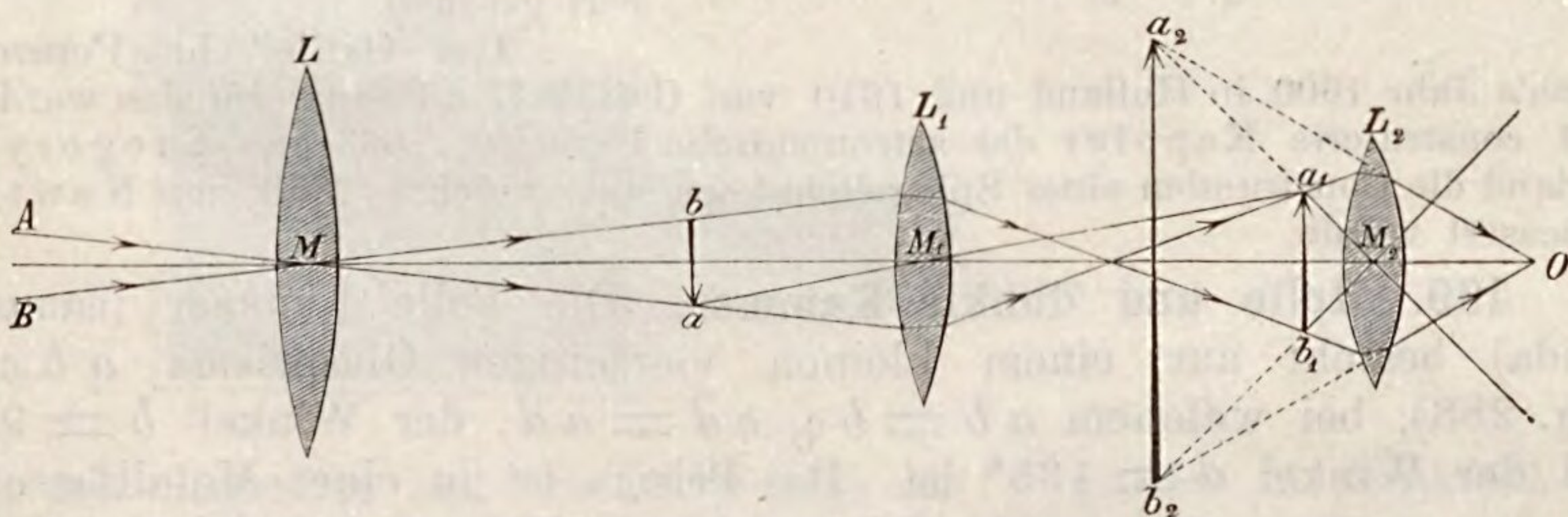
Fig. 284.



Da man bei einem Fernrohre den Gegenstand nicht nach Belieben beleuchten kann, so muss das Objectiv eine grosse Öffnung haben, damit möglichst viel Strahlen durchgehen können. — Die Helligkeit und die Grösse des Gesichtsfeldes nehmen ab, wenn die Vergrößerung wächst; wegen dieses Umstandes und weil die Fehler des durch das Objectiv erzeugten Bildes durch das Ocular vergrössert werden darf die Brennweite des Oculars nicht zu klein sein. Der Vergrößerung ist somit eine Grenze gesetzt. — Zwischen Objectiv und Ocular ist noch eine Linse, Collectivlinse genannt, eingeschaltet, durch welche dem hinter ihr entstehenden Bilde eine grössere Schärfe gegeben wird.

Das astronomische Fernrohr ist zur Betrachtung irdischer Gegenstände nicht geeignet, weil es dieselben verkehrt zeigt. Dieser Übelstand ist beim terrestrischen oder Erdfernrohr beseitigt, indem bei demselben zwischen dem Objectiv L (Fig. 285) und dem Ocular

Fig. 285.

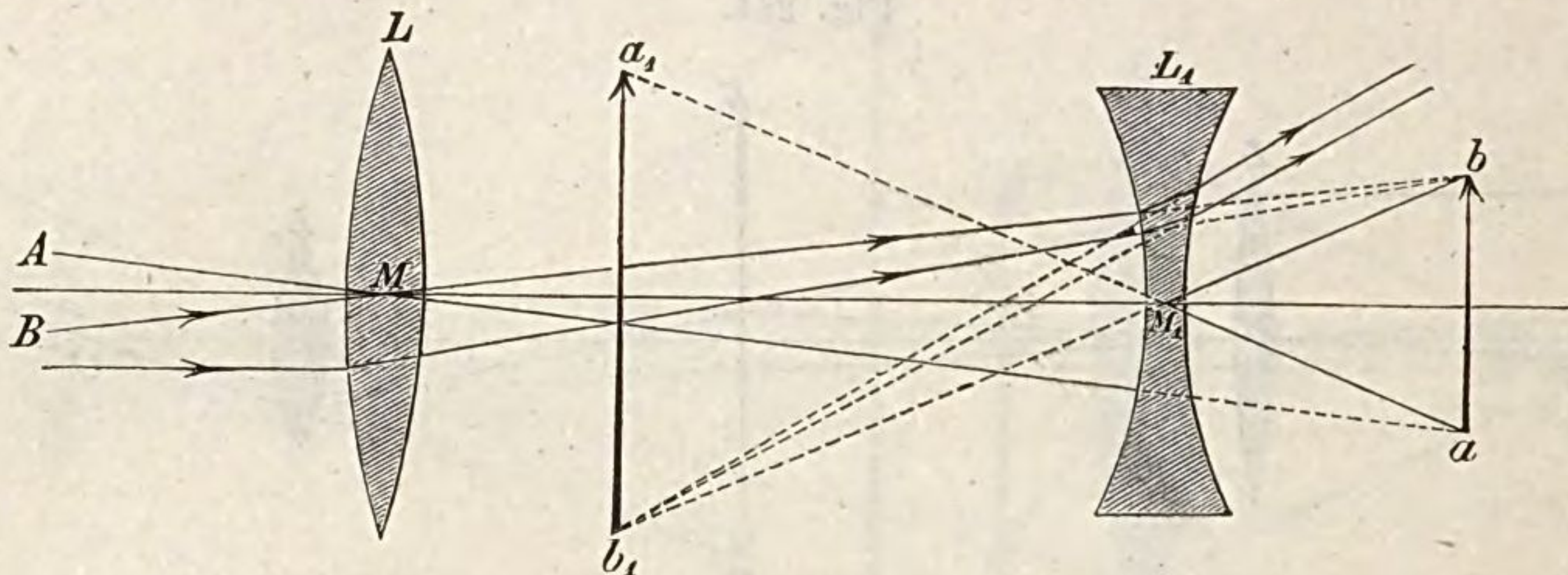


L_2 eine dritte Linse L_1 so angebracht ist, dass das von L erzeugte Bild ab ausserhalb ihrer Brennweite fällt, und daher in a_1b_1 ein aufrechtes Bild des Gegenstandes entsteht. Dieses Bild wird durch L_2 in a_2b_2 vergrössert gesehen.

Das Galilei'sche oder holländische Fernrohr besteht aus einer Sammellinse L (Fig. 286) als Objectiv und aus einer Zerstreuungslinse L_1 als Ocular. Bevor sich die durch L durchgehenden Strahlen zu dem Bilde ab vereinigen, werden sie durch L_1 derartig gebrochen, dass das aufrechte Bild a_1b_1 entsteht. Das Ocular ist innerhalb der Brennweite des Objectivs so aufgestellt, dass das Bild ab etwas hinter ihren geometrischen Brennpunkt fällt. Auch bei diesem Fernrohre wird die Vergrößerung durch den Quotienten aus der Brennweite des Objectivs dividiert durch die Brennweite des Oculars bestimmt.

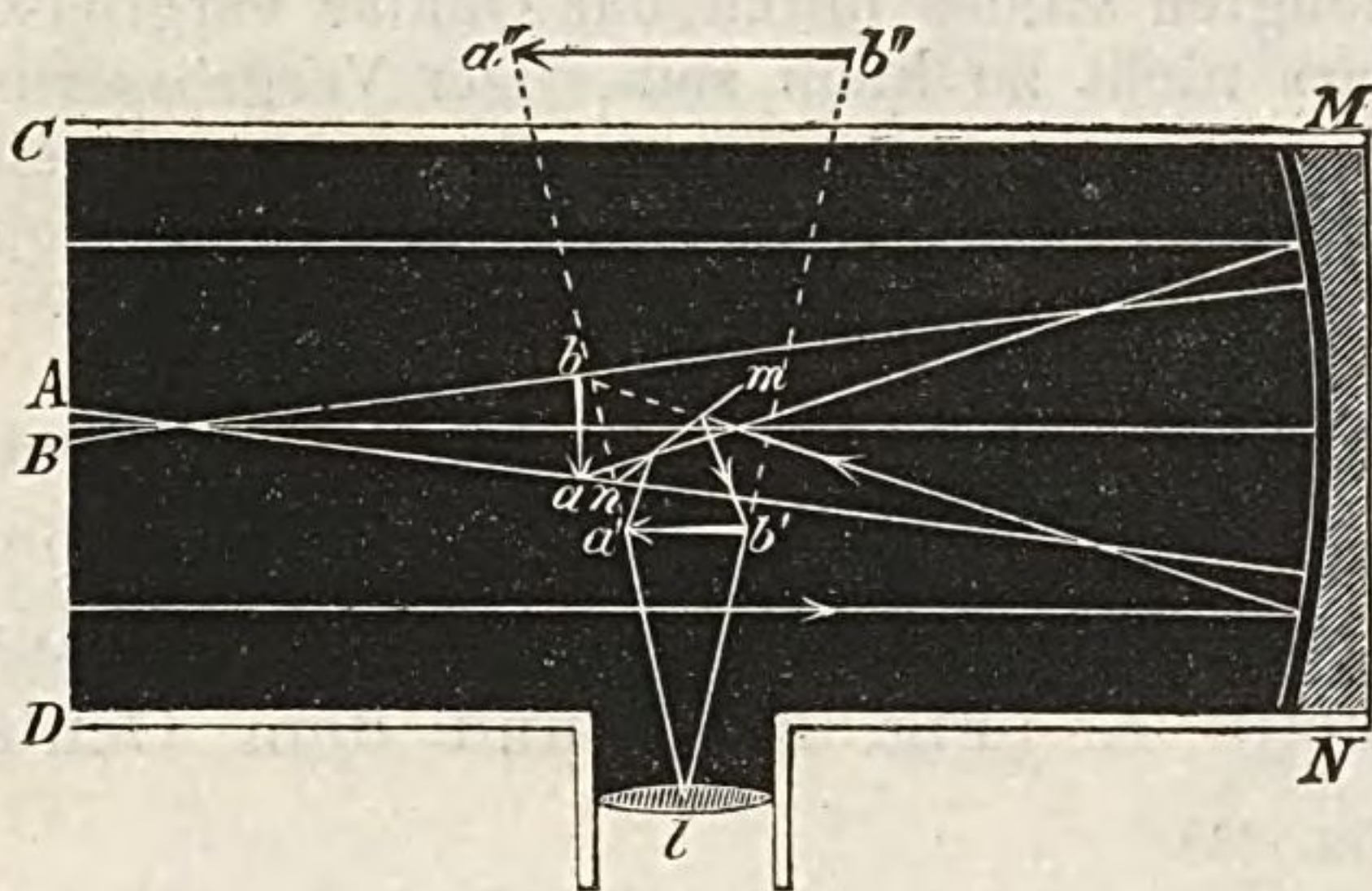
Das Ocular darf keine zu kleine Brennweite haben, weil sonst das Gesichtsfeld zu klein ausfällt. Das Taschen- und Theaterperspectiv sind holländische Fernröhre.

Fig. 286.



Man hat auch Fernröhre, bei welchen das Objectiv ein Spiegel ist. Fig. 287 stellt das Newton'sche Spiegelteleskop vor. $CDMN$ ist ein inwendig geschwärztes Rohr, MN ein Hohlspiegel, welcher als Objectiv wirkt, mn ist ein Planspiegel, welcher gegen die Axe des ersteren um 45° geneigt ist, l ist eine Ocularlinse. Die auf MN fallenden Strahlen werden so reflectiert, dass nahe beim Brennpunkte ein verkleinertes, verkehrtes Bild ab entstünde, wenn mn nicht vorhanden wäre. Durch die Reflexion, welche die Strahlen an mn erleiden, entsteht aber das Bild in $a'b'$, und wird mittelst der Ocularlinse l in $a''b''$ vergrößert gesehen.

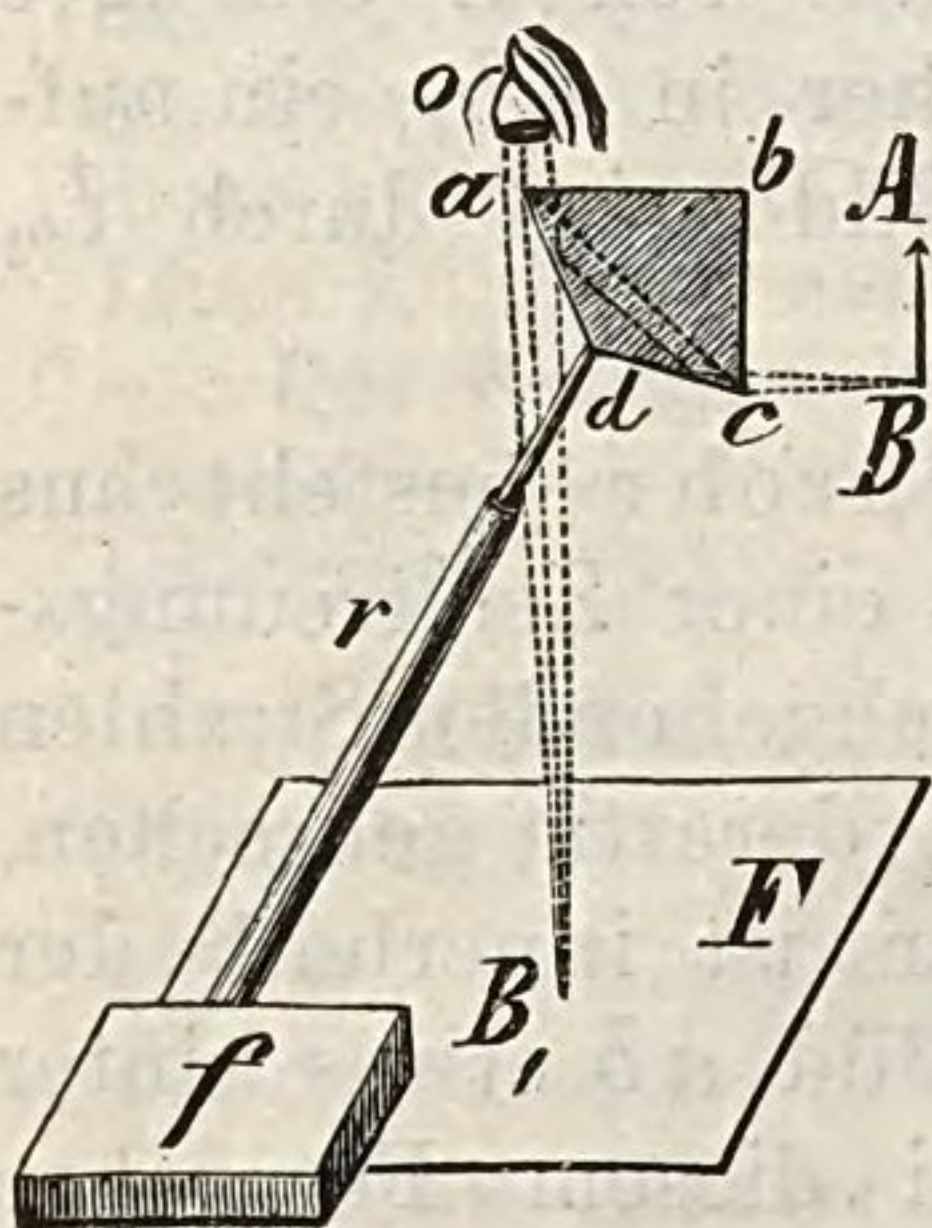
Fig. 287.



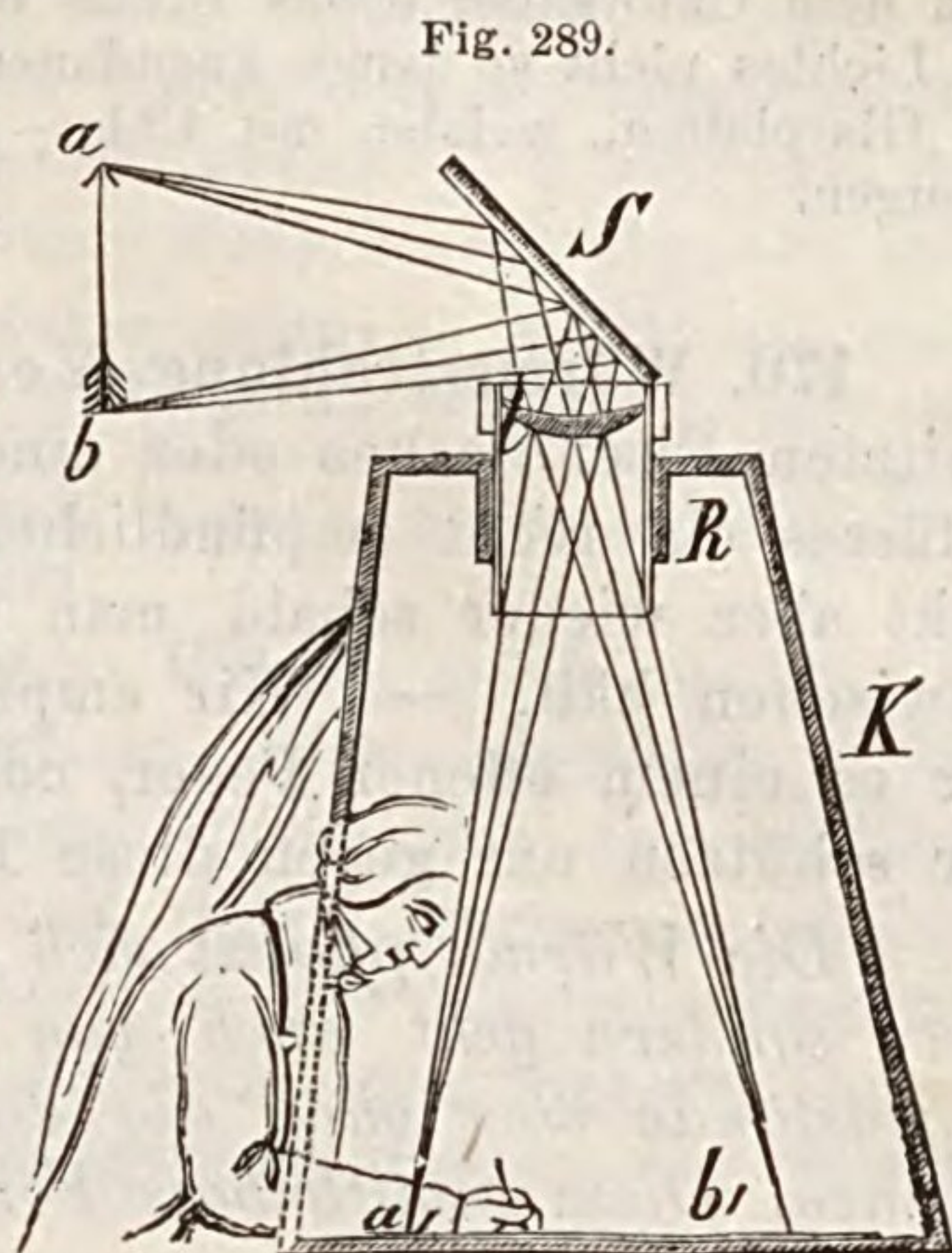
Das Galilei'sche Fernrohr ist um's Jahr 1600 in Holland und 1610 von Galilei in Padua erfunden worden. 1611 construierte Keppler das astronomische Fernrohr, 1663 gab Gregory in England die Construction eines Spiegelteleskops an, welches 1666 von Newton verbessert wurde.

169. Helle und dunkle Kammer. Die helle Kammer (camera lucida) besteht aus einem kleinen vierseitigen Glasprisma $abcd$ (Fig. 288), bei welchem $ab = bc$, $cd = ad$, der Winkel $b = 90^\circ$ und der Winkel $d = 135^\circ$ ist. Das Prisma ist in einer Metallfassung angebracht und durch das zum Ausziehen gerichtete Rohr r mit dem breiten Fuss f verbunden. ab ist mit einem kleinen, geschwärzten Metallplättchen bedeckt, welches bei a eine kleine Öffnung hat, so dass ein darüber gehaltenes Auge zugleich durch das Prisma und an der Kante a vorbei gegen die Papierfläche F sehen kann. Die Flächen bc , cd , da sind von der Metallfassung frei. Das vom Gegenstande AB ausgehende Licht geht ungebrochen durch bc , wird an cd und nachher an da total reflectiert und gelangt in's Auge o , welches auf F das Bild von AB sieht, so dass es dasselbe auf F nachzeichnen kann. Dieser Apparat wurde vom Engländer Wollaston erfunden.

Fig. 288.



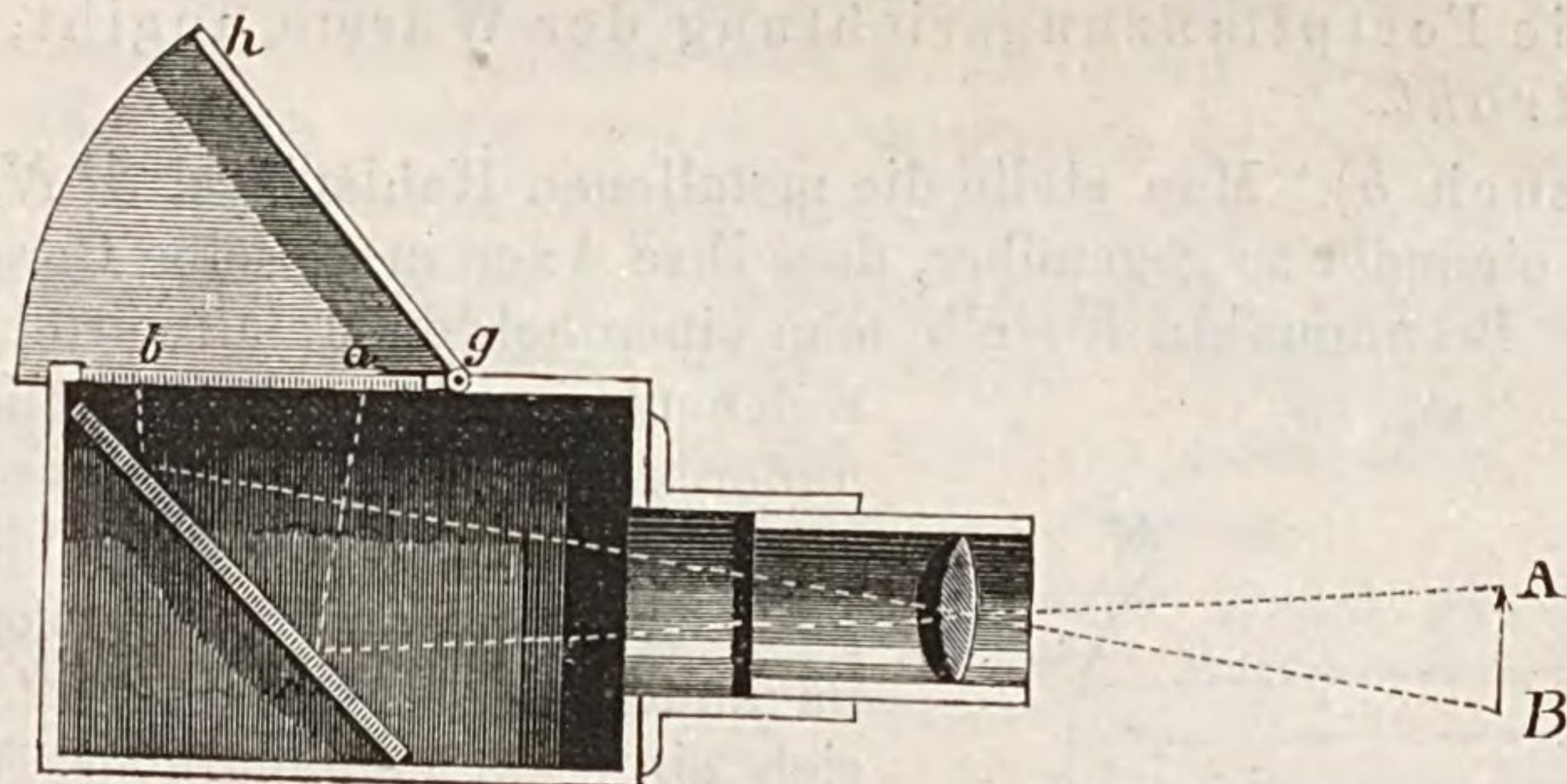
Die vom Italiener Porta im 17. Jahrhundert erfundene dunkle Kammer (camera obscura) besteht (Fig. 289) aus der in einer Röhre R angebrachten Sammellinse l , auf welche durch den Planspiegel S die von einem Gegenstande ab kommenden Strahlen so reflectiert werden, dass sie sich nach der Brechung in der Linse auf dem Boden des dunklen Kastens K zu dem Bilde $a'b'$ vereinigen. Fig. 290 stellt die camera obscura in einer anderen Form vor. AB ist der Gegenstand, ab das Bild, gh ein Deckel zum Abhalten des fremden Lichtes.



Das mittelst der Camera obscura erzeugte Bild kann entweder nachgezeichnet oder mittelst des photographischen Processes fixiert werden.

Die *Photographie* gründet sich auf die Eigenschaft des Sonnenlichtes, chemische Wirkungen zu erzeugen, eine Eigenschaft, welche insbesondere den violetten und jenen Strahlen zukommt, welche brechbarer als die violetten, für

Fig. 290.



uns aber unsichtbar sind. Im Jahre 1838 hat Daguerre in Frankreich ein Verfahren gefunden, das Bild, welches von einer Sammellinse erzeugt wird, auf einer mit Silber überzogenen Kupferplatte zu fixieren. Sein Verfahren ist aber bald durch ein anderes von Talbot herrührendes verdrängt worden. Das Talbot'sche Verfahren ist im Wesentlichen folgendes: Ein durchscheinendes Blatt Papier wird im Dunkeln mit einer dünnen Schichte von weissem Chlorsilber überzogen, und in die camera obscura so angebracht, dass auf dasselbe ein scharfes, deutliches Bild des darzustellenden Gegenstandes fällt. Da das Chlorsilber vom Sonnenlichte zersetzt wird, so werden die von mehr oder weniger intensivem Lichte getroffenen Stellen des Papiere mehr oder weniger geschwärzt, während die anderen Stellen, welche entweder von gar keinem oder von zu schwachem Lichte getroffen werden, unverändert bleiben. Auf diese Art entsteht auf dem Papier ein negatives Bild, in welchem die dunkeln Partien des Gegenstandes hell, die hellen Stellen aber dunkel erscheinen. Ist dieses Bild gut zu Stande gebracht, so wird es fixiert, d. i. gegen den weiteren Einfluss des Sonnenlichtes geschützt, was dadurch geschieht, dass man das Bild in eine bestimmte Flüssigkeit taucht, durch welche das unzersetzte Chlorsilber entfernt wird. Hierauf wird das negative Bild zur Erzeugung positiver Bilder benützt, wobei

man jenes auf ein anderes Blatt photographischen Papiere legt und die Rückseite desselben den Sonnenstrahlen aussetzt. Auf dem zweiten Papiere erscheinen nachher die dunkeln Stellen des negativen Bildes hell und umgekehrt. — Setzt man dem Chlorsilber etwas Brom- oder Jodsilber zu, so braucht die Einwirkung des Lichtes nicht so lange anzudauern. — So wie auf Papier, kann man auch auf Glasplatten, welche mit Chlor- und Jodsilber überzogen sind, Lichtbilder erzeugen.

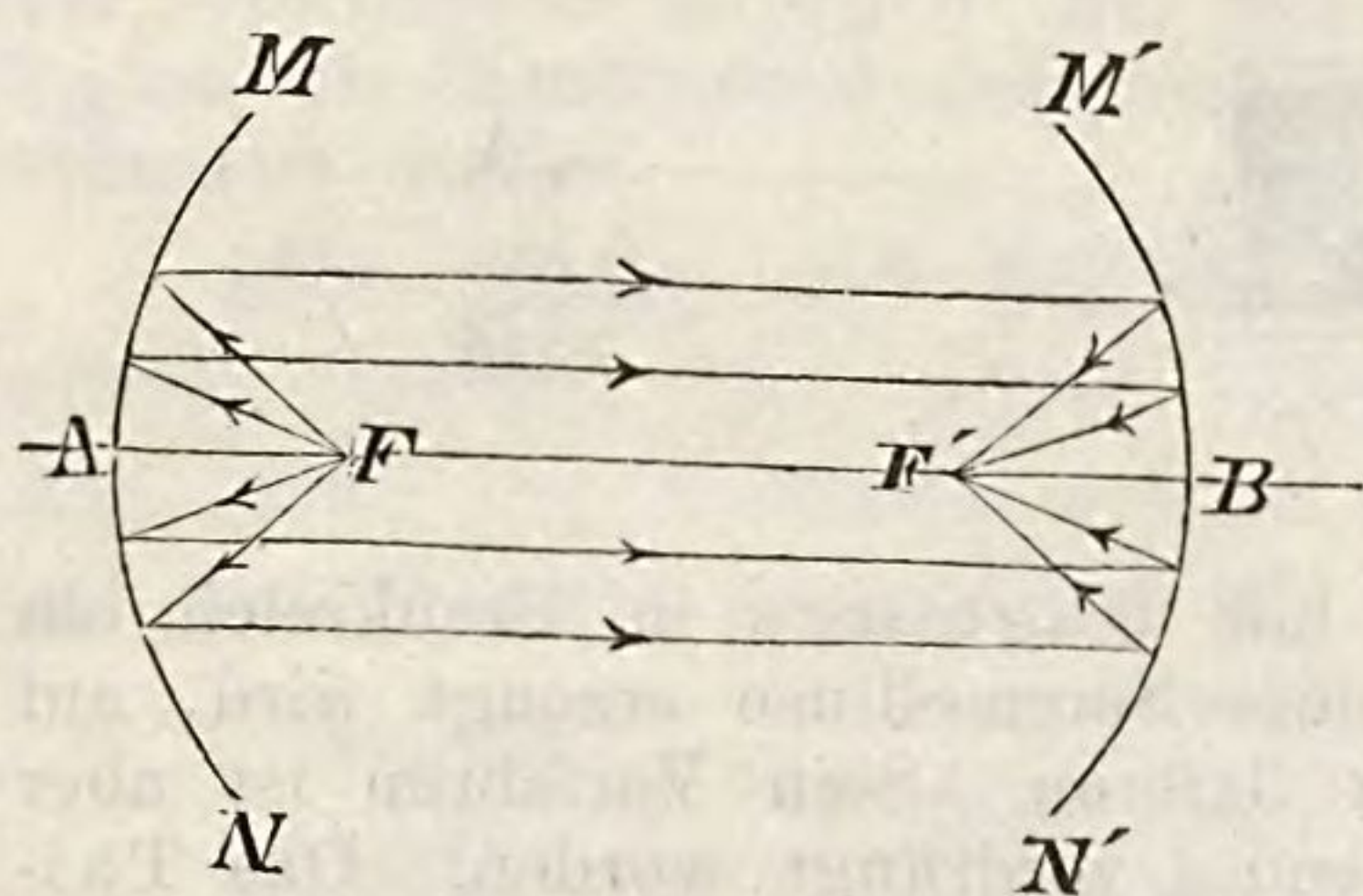
170. Wärmestrahlung. Versuch *a*). Hält man in die Nähe eines erhitzten Eisenbleches oder eines mit siedend heissem Wasser gefüllten Gefässes ein recht empfindliches Thermometer, so steigt dasselbe; es sinkt aber wieder sobald man einen Schirm, z. B. ein Blatt Papier inzwischen hält. — Wir empfinden starke Hitze im Gesichte, wenn wir es einem offenen Feuer, oder dem stark erhitzten Ofen zuwenden; wir schützen uns gegen diese Hitze durch Anwendung von Schirmen.

Die Wärme pflanzt sich nicht bloss durch Leitung (vgl. §. 16) fort, sondern geht auch von einem Körper auf andere entfernte Gegenstände über ohne die dazwischen befindlichen Körper zu erwärmen. Diese unmittelbare Fortpflanzung der Wärme heisst Wärmestrahlung.

Aus den obigen und anderen Versuchen ergibt sich ferner: *Alle Körper strahlen Wärme aus und es pflanzt sich hiebei die Wärme so wie das Licht geradlinigt fort.* Man nennt jede Gerade, welche die Fortpflanzungsrichtung der Wärme angibt, einen *Wärmestrah*l.

Versuch *b*). Man stelle die metallenen Hohlspiegel MN , $M'N'$ (Fig. 291) einander so gegenüber, dass ihre Axen in dieselbe Gerade AB fallen. Im Brennpunkte F stelle man einen hohlen Metallwürfel auf, an

Fig. 291.



welchem eine Seitenfläche poliert, eine andere rau, eine dritte mit einer Glasplatte belegt und endlich eine vierte Seitenfläche mit Kienruss überzogen ist; im anderen Brennpunkte F' befinde sich ein recht empfindliches Thermometer. Füllt man den Würfel mit erhitztem Wasser, so steigt das Thermometer und zwar am stärksten, wenn die berusste Seite des Würfels dem Spiegel MN zugekehrt ist; die

Erwärmung in F' wird immer schwächer, wenn man der Reihe nach die mit Glas belegte, die rauhe und die polierte Seite des Würfels dem Spiegel MN zuwendet. Die jeweilige Erwärmung in F' ist um so grösser, je höher die Temperatur des Wassers im Würfel ist. Hieraus folgt:

1. *Die Wärmestrahlen werden nach demselben Gesetze wie die Lichtstrahlen zurückgeworfen.*

2. *Die Menge der von einem Körper ausgestrahlten Wärme wächst mit der Temperatur desselben und hängt von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab.*

Bei gleicher Temperatur strahlen im allgemeinen Körper, welche dunkle und rauhe Oberflächen haben, mehr Wärme aus als solche mit heller und glatter Oberfläche; auch besitzen die Körper im fein vertheilten Zustande ein grösseres Wärmeausstrahlungsvermögen als im compacten. Von allen Körpern strahlt Kienruss die Wärme am stärksten, polierte Metalle aber am wenigsten aus.

Körpern, welche ihre Wärme lange behalten sollen, z. B. Röhren, durch welche Dämpfe geleitet werden sollen, Kaffee- und Theekannen u. dgl., gibt man eine blank polierte Oberfläche. — Die Erde gibt die von der Sonne empfangene Wärme wieder durch Strahlung ab; die dadurch bewirkte Abkühlung verursacht die Bildung des Thaues und Reifes (Vgl. §. 27).

Die von einem Körper ausgestrahlte Wärme wird von den ihn umgebenden Körpern entweder reflectiert oder absorbiert. Die Temperatur des Körpers wird aber nur durch die verschluckten Wärmestrahlen erhöht. Ein Körper wird daher immer die gleiche Temperatur behalten, wenn derselbe eben so viel Wärme ausstrahlt als er absorbiert; die Temperatur eines Körpers muss dagegen steigen oder sinken, je nachdem der Körper eine grössere Menge von Wärme verschluckt oder ausstrahlt.

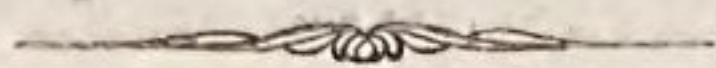
Versuch c). Man setze zwei Thermometer, wovon die Kugel des einen mit Kienruss überzogen ist, den Sonnenstrahlen aus; das berusste steigt weit mehr als das andere. — Breite auf eine Schneefläche einen weissen und einen schwarzen Tuchstreifen aus; unter letzterem schmilzt der Schnee stärker als unter ersterem. — Von zwei Metallstücken, welche den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, wird eines mit rauher Oberfläche mehr erwärmt als das glatt polierte.

Körper mit dunkler und rauher Oberfläche absorbieren mehr Wärmestrahlen als helle und polierte Körper. Überhaupt verschlucken jene Körper, welche die Wärme am stärksten ausstrahlen, auch die auf sie fallenden Wärmestrahlen am reichlichsten.

Man wendet im Sommer hellfarbige, im Winter dunkel gefärbte Kleider an. In einem an der Aussenseite mit Russ bedeckten Kessel siedet das Wasser schneller; an dunkeln Wänden reifen Weintrauben und Pflirsiche früher. — Bei trübem Himmel ist die Abkühlung nicht so gross als bei heiterem Wetter, weil die von der Erde ausgestrahlte Wärme von den Wolken wieder gegen die Erde zurückgestrahlt wird. Was hat diess auf die Thau- und Reifbildung für einen Einfluss? — In einem Zimmer nehmen alle Gegenstände nach und nach dieselbe Temperatur an, und behalten sie bei, weil diejenigen Körper, welche die Wärme am stärksten absorbieren, dieselbe auch am reichlichsten ausstrahlen.

Gleichwie es in Bezug auf das Licht durchsichtige und undurchsichtige Körper gibt, ebenso zerfallen die Körper rücksichtlich der Wärme in *diathermane* und *athermane*. *Diatherman* heissen jene Körper, welche den Wärmestrahlen den Durchgang gestatten; dagegen werden jene Körper, welche die Wärmestrahlen nicht durchlassen, *atherman* genannt. Steinsalz ist am meisten diatherman; aber auch wenig durchsichtige Körper z. B. geschwärztes Glas, schwarzer Glimmer lassen Wärmestrahlen durch.

Gehen Wärmestrahlen aus einem Mittel in ein anderes über, so werden sie sowie das Licht gebrochen. Überhaupt befolgt die strahlende Wärme ganz ähnliche Gesetze wie das Licht.



REGISTER.

	Seite		Seite
Äquator, magnetischer	55	Auftrieb	146
Äther	190	Auge	217
Abendröthe	214	Ausdehnbarkeit	24
Absorption der Gase	134	Ausdehnbarkeit	4
„ des Lichtes	213	Ausdehnung durch die Wärme	23
„ der Wärme	233	Ausdehnungscoefficient	23
Abweichung, chromatische	215	Auslader, elektrischer	64
„ magnetische	54	Axe, Augen-	219
„ sphärische	210	Axe, magnetische	48
Accomodationsvermögen	224	B arometer	154
Achromatismus	215	Basen	38
Adhäsion	132	Batterie, elektrische	65
Aggregatzustand	4	„ Volta'sche	72
Alkarazzas	30	Beharrungsvermögen	90
Ammoniak	40	Beleuchtungsstärke	193
Ampère'sche Regel	82	Berührungselektricität	71
Analyse, chemische	36	Beweglichkeit, Bewegung	88
Ansammler (Conductor)	65	Bewegungsgrösse	114
Abplattung der Erde	120	Bewegungshindernisse	125
Aräometer	150	Blasebalg	162
Archimedisches Princip	145	Blasinstrumente	185
Armierung der Magnete	52	Bläue des Himmels	214
Artesische Brunnen	144	Blausäure	44
Astatische Magnetnadel	55	Blendung	210
Athermane Körper	233	Blitz	69
Atmosphäre	16	Blitzableiter	69
„ , Bestandtheile derselben	39	Borda'sche Doppelwägung	14
„ , Druck derselben	16, 135	Boussole	55
„ , elektrische	61	Brechung des Lichtes	200
Athmungsprocess	46	„ doppelte	202
Atom	3	Brechungsexponent	202
Aufrechtsehen	219	Brennpunkt	198, 207

	Seite
Brille	225
Brom	41
Bunsen'sche Kette	80
Calcium	41
Camera lucida	230
Camera obscura	191, 230
Capillarität	133
Centralbewegung	117
Centrifugalgebläse	120
Centrifugalkraft	118
Centripetalkraft	118
Chemische Erscheinungen	37
" Harmonika	39
" Verbindung	36
" Verwandtschaft	36
" Zersetzung	36
Chemische Wirkungen der Reibungselektricität	68
Chemische Wirkungen des galvan. Stromes	71, 78
Chladni'sche Figuren	183
Chlor	41
Chlorcalcium	41
Chlornatrium	41
Chlorwasserstoffgas	41
Coercitivkraft	53
Cohäsion	127
Communicierende Gefäße	142
Compensationspendel	124
Complementäre Farben	213
Compressionspumpe	163
Concavlinen	209
Conductor	65
Constante Kette	79
Convexlinen	206
Cyan	44
Dämmerung	200
Dämpfe	28
" , Spannkraft der	167
Dalton'sches Gesetz	166
Dampfmaschine	168
Daniell'sches Element	80
Davy's Sicherheitslampe	45
Declination, magnet.	54
Declinationsnadel	54
Destillation	31
Diamagnetische Körper	84

	Seite
Diaphragma (Blendung)	210
Diathermane Körper	233
Dichte	15
" , Bestimmung derselben	16, 149
" , der Elektricität	60
Donner	69
Doppelstrich	51
Doppeltsehen	219
Drehmoment	11
Drehungsgesetz des Windes	157
Druck tropfbarer Flüssigkeiten	138
Druckpumpe	161
Drummond's Licht	40
Dünste	28
" , Spannkraft der	167
Durchsichtige Körper	190
Dynamik	92
Dynamometer v. Regnier.	129
Ebene, schiefe	104
Echo	188
Einfache Stoffe	36
Einfachsehen	219
Einfallsloth	130
Einfallswinkel	130
Eispunkt	21
Elasticität	128
Elektricität, atmosphärische	68
Elektricität, freie und gebundene	61
" galvanische	71
" positive und negative	58
" Reibungs-	56
Elektrische Spannung	60
" Strom	62
" Vertheilung	60
" Telegraph	84
Elektrisirermaschine	65
Elektroden	78
Elektrolyse	78
Elektromagnetismus	84
Elektromotor	74
Elektrophor	63
Elektroskop, Goldblatt-	63
" Fechners	72
Elmsfeuer, Sct.	70
Endgeschwindigkeit	111
Endosmose	134
Erdfernrohr	229

	Seite
Erdmagnetismus	53
Erdwärme	34
Ergänzungsfarben	212
Erscheinung	4
Eustachische Trompete	176
Expansivkraft der Gase	17, 158
„ der Dünste	167
Extrastrom	87
F all, freier	114
Fallmaschine	110
Farben, einfache und gemischte	212
„ natürliche	212
„ prismatische	210
„ subjective	224
Farbenbild, prismatisches	210
Farbenkreisel	211
Farbenzerstreuung	210
Fata morgana	203
Federwage	129
Fernrohr	228
Festigkeit	131
Feuerspritze	161
Feuerzeug, pneumatisches	34
„ Wasserstoff-	162
Flamme	45
Flammenbogen, galvanischer	77
Flasche, Leydner	65
Flaschenzug	103
Fliehkraft	118
Flüssige Körper	4, 136
Flüssigkeitswärme	26
Focus	198, 207
Franklin'sche Tafel	64
Fundamentalabstand	22
Funke, elektrischer	62
G ährung, geistige	43
„ saure	43
Galvanismus	70
Galvanischer Strom	73
Galvanometer	83
Galvanoplastik	81
Gasometer	163
Gefrierpunkt	21
Gehörorgan	176
Geräusch	177
Geschwindigkeit	89
„ der Elektrizität	63

	Seite
Geschwindigkeit des Lichtes	192
„ des Schalles	187
Gesichtswinkel	221
Gewicht	9
„ spezifisches	15
Gewichtsäräometer	150
Gewitter	68
Glaselektricität	58
Gleichgewicht	92
„ indifferentes	98
„ labiles und stabiles	98
„ schwerer Körper	98
„ schwimmender Körper	148
Gramm	10
Gravitationsgesetz	118
Grove'sche Kette	80
Grubengas	44
Grundstoff	36
Grundton	179
H aarröhrchen	133
Härte	128
Halbschatten	192
Haloidsalze	41
Harzelektricität	58
Haspel	102
Hauptstrahl	197, 207
Hebel	10
Heber	159
Heizung, Meissner	25
Héronsball	18
Hörrohr	189
Hohllinsen	209
Hohlspiegel	197
Horizontal	6
Hydrat	40
Hydrostatische Wage	145
I nclination, magnetische	55
Inclinationsnadel	55
Indifferente Stelle des Magnets	54
Inducierte Ströme	85
Induction, elektrische	86
Influenz, elektrische	61
Jod	41
Isolatoren	58
K ältemischungen	26
Kaleidoskop	197

	Seite
Kanalwage	143
Kathode	78
Keil	105
Keppler'sche Gesetze	118
Kette, Volta'sche	70, 75
„ thermoelektrische	88
Klang	177
Klangfiguren	183
Knall	177
Knallgas	39
Knotenlinien	183
Königswasser	41
Kohlenoxydgas	43
Kohlensäure	43
Kohlenstoff	42
Krämerwage	12
Kraft	5, 91
Kreuzungspunkt im Auge	219
Krystallisation	135
Kugelwellen	173
Kurzsichtigkeit	224
L abialpfeife	183
Landwind	25
Latente Wärme	26
Leidenfrost'sche Versuch	30
Leitung der Elektrizität	57
„ der Wärme	19
Leuchtgas	44
Libelle	147
Licht	189
Lichtenberg'sche Figuren	68
Lichtstrahl	190
Linsen	206
Lippenpfeifen	183
Lothrecht	6
Longitudinalschwingungen	171
Luftballon	166
Luftdruck	16, 153
Luftelektricität	68
Luftförmige Körper	4, 153
Luftpumpe	163
Luftspiegelung	203
Lupe	227
M agnet, Magnetismus	47
Magnetische Wirkungen des elekt. Stromes	68, 82
Magnetisierung durch das Streichen	51

	Seite
Magnetisierung durch den Strom	84
„ durch Vertheilung	49
Magnetnadel	49
Manometer	163
Mariotte's Gesetz	158
Maschine	100
Masse	3
Materie	3
Mechanik	92
Meridian, magnetischer	54
Messung der Kräfte	11, 114
„ der Stromstärke	81, 83
Metacentrum	148
Metalle, Metalloide	37
Meter	2
Mikroskop	226
Mittelkraft	92
Mittelpunkt paralleler Kräfte	97
Mittheilung, elektr.	56
Mittönen	186
Molekel	3
Molekularkräfte	127
Momentane Kräfte	91
Mondesfinsternis	192
Monochord	181
Morgenröthe	214
Multiplicator	83
N achbild	224
Nachhall	188
Naturgesetz	5
Naturlehre	5
Nebel	31
Nebenregenbogen	214
Neef'sche Hammer	87
Neigung, magnetische	55
Niveau	138
Nordlicht	70
O bjectivglas	227
Octav	179
Ocularglas	227
Ohr	176
Optische Instrumente	226—230
Oscillation	122, 170
Oxyd	37
Oxydation	37
Ozon	68

	Seite		Seite
P apin'scher Topf	28	S äule, Zamboni'sche oder trockene	72
Parallelogramm der Kräfte	93	Säuren	38
„ der Geschwindig-		Saiten, tönende	181
keiten	113	Salpetersäure	38
Paramagnetische Körper	48	Salze	38
Passatwinde	25	Salzsäure	41
Pendel, einfaches	121	Sammellinsen	206
„ elektrisches	56	Sauerstoff	37
„ zusammengesetztes	123	Saugpumpe	160
Pendelschwingung	122	Schall	175
Pendeluhr	124	Schallstrahl	175
Pfeifen	183	Schallwellen	175
Phosphor	41	Schatten	191
Photographie	231	Scheidewasser	39
Photometer	194	Schiefe Ebene	104
Physiologische Wirkungen der Elek-		Schlagweite	62
tricität	67, 77	Schmelzen	25
Physik	5	Schmelzpunkt	26
Pneumatisches Feuerzeug	34	Schnellwage	14
Polarität	49	Schornstein	24
Pole, magnetische	48	Schraube	105
Porösität	23	Schrottware	7
Prisma	205	Schwefel	42
Pumpe	160	Schwefelsäure	42
Q adrantenelektroskop	63	Schwefelwasserstoff	42
Quellen der Wärme	33	Schweifige Säure	38
Quecksilberthermometer	20	Schwere	7
R eaction der ausströmenden		Schwerkraft	7
Flüssigkeit	141	Schwerpunkt	8, 97
Real's Presse	139	Schwimmen	147
Reflexion des Lichtes	195	Schwingende Bewegung	121, 170
„ des Schalles	187	Schwingungspunkt des Pendels .	123
„ der Wärme	232	Schwingungszahl	171
Reflexionswinkel	130	Secundenpendel	123
Regen	31	Seewinde	25
Regenbogen	214	Segner's Wasserrad	141
Regengalle	214	Sehen	219, 221
Reibung	125	Sehweite	224
Reif	31	Seilwellen	171
Resonanz	126	Seitendruck ruhender Flüssigkeiten	141
Resultierende	92	Seitenkraft	92
Richtungslinie der Schwerkraft . .	97	Selbstleuchtende Körper	189
Rolle	102	Senkblei	6
Rostpendel	125	Senkwagen	150
Rotierende Bewegung	89	Setzwage	7
Rückwirkung der ausströmenden		Sieden	28
Flüssigkeit	141	Siedepunkt	28
		Smee'sche Kette	80

	Seite		Seite
Solenoid	83	Verdunstung	27
Sonnenmikroskop	228	Verstärkungsgläser	64
Spannung, elektrische	60	Vertheilung, elektrische	60
Spannungsreihe	74	„ magnetische	50
Specifische Wärme	32	Verwandtschaft, chemische	36
Spectrum	210	Voltameter	80
Sphärische Abweichung	210	Volumen	2
Spiegel, ebene	195		
„ sphärische	197	W ärme	18
Sprachrohr	189	Wärme, gebundene, freie	26
Standfähigkeit	99	Wärmecapacität	32
Stäbe, tönende	182	Wärmeeinheit	32
Stärke des Schalles	186	Wärmeleitung	19
Statik	92	Wärmestrahlung	232
Stereoskop	220	Wage	12
Stickstoff	38	Wasser	40
Stimmgabel	183	Wasserräder	141
Stimmorgan	185	Wasserstandglas	143
Stoss fester Körper	129	Wasserstoff	39
Strahlende Wärme	232	Wasserzersetzungsapparat	71
Strom, elektrischer	62	Weitsichtigkeit	224
Subjective Farben	224	Wellenbewegung	171
T elegraph	85	Wellrad	101
Temperatur	18	Wetterglas	157
Thau	31	Wetterleuchten	69
Thaupunkt	168	Widerstand des Mittels	126
Theilbarkeit	3	Wiederhall = Echo	188
Thermoelektricität	87	Winkelhebel	11
Thermometer	20	Winkelspiegel	196
Ton	177	Wolken	31
Torricelli'sche Leere	154	Wurfbewegung	115
Torricelli'scher Versuch	153		
Totale Reflexion	203	Z amboni'sche Säule	72
Trägheit	90	Zerlegung der Kräfte	92
Turbine	142	Zerstreuung des Lichtes	199
U ndurchdringlichkeit	3	Zerstreuungslinsen	209
Undurchsichtige Körper	190	Zungenpfeifen	185
V erbrennungsprocess	44	Zusammensetzung der Bewegungen	112
Verdampfungswärme	30	„ der Kräfte	92, 95



Anfangsgründe der Naturlehre für die unteren Classen der Mittelschulen

Wien 1864

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.41-c
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763616-0